

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

E.A.P. DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

**“DETERMINACIÓN DE Pb, Cd, As EN AGUAS DEL RÍO
SANTA EN EL PASIVO MINERO AMBIENTAL DE
RECUAY, TICAPAMPA; RECUAY – ANCASH”**

TESIS

Tesis para optar al Título Profesional de Químico Farmacéutico

AUTOR

Franklin Wilfredo Graza Evaristo

Ronal Quispe Pozo

Lima-Perú

2015

AGRADECIMIENTO

A mi familia que fue mi fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis duros de carrera profesional y en especial quiero expresar mi más gran agradecimiento a mis padres que sin su ayuda hubiera sido imposible de culminar mi carrera profesional.

Un agradecimiento singular debemos al Dr. Jesús Lizano, que como asesor de tesis nos ha orientado y corregido en nuestra labor científica con un interés único de aportar conocimientos que contribuyan al desarrollo de nuestra profesión y de nuestra nación.

La universidad nos dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que nos ha brindado son incomparables, y antes de todo no pensábamos que esto fuera posible algún día.

Agradecemos mucho a nuestros maestros y compañeros y en especial a nuestra querida alma mater nuestra querida universidad San Marcos, por el conjunto de todos los conocimientos brindados durante nuestra permanencia en sus aulas.

Atte. Franklin Graza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a los que son parte de mi familia a mi padre ANTONIO QUISPE, mi madre JULIA POZO; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

A mi asesor de tesis Q.F Jesús Lizano Gutierrez quien a lo largo de este tiempo me demostró y puso a prueba sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de esta tesis, el cual ha finalizado llenando todas mis expectativas.

Por último a mi compañero de tesis porque en esta armonía grupal lo hemos logrado.

Atte. Ronal Quispe Pozo

DEDICATORIA

Esta tesis lo dedico con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Gracias por siempre Wilfredo Graza y Carmen Evaristo, mis queridos padres

A mis hermanas Shirley, Diana, Josselyn y Carmen, pues ellas fueron el principal cimiento para construir mi vida profesional, en ellas tengo el espejo en el cual me quiero reflejar de sus virtudes y el gran corazón que tienen y que me lleva a admirarlas cada día más

¡Gracias a ustedes!

Franklin Graza

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Antonio y Julia; a mi hermana Thalía, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Ronal Quispe Pozo

RESUMEN

Durante el desarrollo de este trabajo se realizó la cuantificación de arsénico, cadmio y plomo en las aguas de un tramo del río Santa en el tramo adyacente al Pasivo Ambiental Minero de Recuay, Ticapampa, en la provincia de Recuay el cual forma parte del departamento de Ancash. Las muestras de agua, se tomaron en nueve (09) puntos consecutivos que están conformados además de tres (03) blancos (blanco viajero, blanco muestreo y blanco lago), analizándose la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. La concentración de arsénico fue 0,0404 mg/L, del plomo 0,6402 mg/L y del cadmio 0,0396 mg/L; siendo todos ellos superiores a los Límites Máximos Permisibles establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” del Ministerio del Ambiente. Según los resultados obtenidos. El estudio comprueba que parte de la contaminación del río Santa es provocada principalmente por la descarga residuos mineros que están ubicados a lo largo de todo su cauce (en el tramo de Ticapampa – Recuay), ya que usan el río Santa como vía de eliminación de sus residuos. En lo que respecta en los análisis de los sedimentos, los valores de concentración de los metales pesados se encuentran en niveles de concentración que evidencian diferentes grados de toxicidad tomadas en base a los límites permisibles. Se comprueba que la contaminación por Pb, Cd, y Ar, tienen origen minero, siendo estos vertidos en las aguas del río siendo estas las principales fuentes de contaminación por metales pesados. Se determinó que el agua del río Santa, está contaminada y no es adecuada para el uso y consumo humano.

Palabras clave: Pasivo Ambiental Minero, plomo, cadmio y arsénico, Espectrofotometría de absorción atómica, agua de río, río Santa

ABSTRACT

During the development of this work quantification of arsenic, cadmium and lead were conducted in the waters of a stretch of river Santa in the adjacent span the Mining Environmental Liabilities Recuay, Ticapampa in the province of Recuay which is part of the Department of Ancash. Water samples were taken nine (09) consecutive points that are made and three (03) White (white traveler, white sample and black lake), analyzing the concentration of the metals in question at each point by the method of Atomic absorption spectrophotometry. The arsenic concentration was 0.0404 mg / L, the lead 0.6402 mg / L and cadmium 0.0396 mg / L; all of them being higher than maximum permissible limits set by the "National Environmental Quality Standards for Water" of the Ministry of Environment. According to the results. Because they use the Santa River as a means of eliminating - the checks that part of the pollution of the river Santa is caused mainly by the mining waste discharge are located throughout its course (Recuay tranche Ticapampa) study their waste. Regarding the analyzes of sediments, the concentration values for heavy metals are found in concentration levels that show different degrees of toxicity taken based on the permissible limits. It is found that contamination by Pb, Cd, and Ar have mining origin, these being dumped in the river and these are the main sources of heavy metal pollution. It was determined that the Santa River water is contaminated and not suitable for human use and consumption.

Keywords: Environmental Liabilities Mining, lead, cadmium and arsenic, atomic absorption spectrophotometry, river water, river St.

INDICE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
I. GENERALIDADES	3
1. Antecedentes	4
2. Estudios anteriores de impacto ambiental	5
2.1 En el exterior del país	5
2.2 En la región de estudio	7
3. Ubicación	8
4. Problemática de los residuos mineros en el Perú. Canchas de Relave	9
4.1 Desarrollo Histórico de la Tecnología de Relaves	9
4.2 Características de la Industria Minera	10
5. Tipos de yacimientos	12
6. características del Plomo, Arsénico y Cadmio que produce el Perú	12
6.1 El Plomo(Pb)	12
6.2 El Arsénico (As)	13
6.3 El Cadmio (Cd)	13
7. Clasificación de la minería peruana	14
7.1 Tipos de concesiones mineras según criterios de clasificación	14
7.2 Preparación del yacimiento	16
7.3 Beneficio	18
7.4 Transporte minero	19
7.5 Por la naturaleza de las sustancias	19
7.6 Por la forma de los yacimientos	20
7.7 Por su método de explotación	20

7.8 Por el valor económico de las sustancias	20
7.9 Por la ubicación de los minerales	21
7.10 Según su denunciabilidad	21
7.11 Por su tamaño	21
7.12 Por el tipo de producción	22
7.13 Por su legalidad	22
8. Contaminación de los recursos hídricos	23
8.1 Estudios de impacto ambiental	23
8.2 La calidad del agua	24
8.3 Principales indicadores de la calidad del agua	26
8.4 Principales grupos de contaminantes del agua	28
8.5 Importancia del análisis de los metales pesados	30
8.6 Metales pesados	32
8.7 Contaminación por metales pesados	34
8.8 Sedimentos	37
9. Metales tóxicos	39
9.1 Plomo	40
9.2 Arsénico	42
9.3 Cadmio	44
10. Fisiología de los metales tóxicos	45
10.1 Plomo	45
10.2 Cadmio	50
10.3 Arsénico	60
11. Marco legal	65
11.1 Ley N° 29338 “Ley de los Recursos Hídricos”	65
11.2 D.S. 023-2009 – MINAM “Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua	67
11.3 Estándares primarios según EPA	68
12. Efectos tóxicos y tratamiento del plomo	68
12.1 Intoxicación aguda por plomo	68

12.2 Intoxicación crónica por plomo	69
13. Efectos tóxicos y tratamiento del arsénico	71
13.1 Intoxicación aguda por arsénico	71
13.2 Intoxicación crónica por arsénico	73
13.3 Tratamiento	73
14. Efectos tóxicos y tratamiento del cadmio	74
14.1 Intoxicación aguda por cadmio	74
14.2 Intoxicación crónica por cadmio	74
14.3 Tratamiento	75
II. PARTE EXPERIMENTAL	76
1. Muestreo de aguas	78
2. Ubicación del punto de muestreo	78
3. Muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis	79
III. RESULTADOS	87
IV. DISCUSIÓN	94
V. CONCLUSIONES	97
VI. RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	100
ANEXOS	

LISTA DE ABREVIATURAS

- Cd: Cadmio
- Pb: Plomo
- As: Arsénico
- Ni: Niquel
- Co: Cobalto
- Cr: Cromo
- Cu: Cobre
- Fe: Hierro
- Mn: Manganeseo
- Zn: Zinc
- ONG: Organismo No Gubernamental
- INGEMMET: Instituto Geológico Mineral Metalúrgico
- S.A: Sociedad Anónima
- U.I.T: Unidad Impositiva Tributaria
- MINEM: Ministerio de Energía y Minas
- OMS: Organismo Mundial de Salud
- EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
- CNA: Consejo Nacional del Agua
- ARD: Acid Rock Drainage (Drenaje ácido de roca)
- PVC: Policloruro de Vinilo
- TM: Tonelada Métrica
- TGI: Tracto Gastrointestinal
- EIA: Evaluación de Impacto Ambiental
- ANA: Autoridad Nacional del Agua
- D.S: Decreto Supremo

LISTA DE MATERIALES

- 12 Frascos de polietileno de primer uso de un litro de capacidad.
- 01 litro de Ácido Nítrico 69%-70%
- Agua purificada
- 01 balde de plástico
- 01 lavatorio de plástico
- 01 probeta de 1 litro
- 01 probeta de 500ml
- 01 pro-pipeta, pizeta, gotero
- Pipetas graduadas de 10mL y 25mL
- Tiras indicadoras de pH
- Termómetro digital, reloj con cronómetro
- 01 cooler (caja térmica para mantener controlada la temperatura)
- Ice pack (paquetes de gel frío para mantener baja la temperatura)
- Chaqueta, botas de jebe, gorra, soga, guantes de jebe, mascarilla

INTRODUCCIÓN

Las aguas del río Santa constituyen una importante cuenca hidrográfica de nuestro país, es un elemento significativo del medio ambiente y turístico de la región, además de otorgar sus aguas a la población para fines de higiene, agrícolas, mineros y consumo humano en general.

Sin embargo, la actividad minera de la zona elimina una mezcla de residuos hacia las aguas del río, estos residuos contienen metales pesados, como el cadmio, plomo y arsénico; es por eso que el gobierno toma medidas de control para evitarlo y eliminarlo. Así pues, en los distritos de Recuay y Ticapampa pertenecientes a la provincia de Recuay departamento de Ancash es donde se encuentran los relaves mineros de la compañía minera Alianza que ahora es considerado un Pasivo Ambiental Minero (PAM) que hasta el momento los responsables hacen caso omiso para su remediación y eliminación del medio ambiente.

Este PAM tiene una composición muy perjudicial para todo el ecosistema, siendo los principales grupos de riesgo la población aledaña y trabajadores de la zona. La región también se vería afectada en su actividad agrícola y ganadera ya que usan estas aguas para riego o de bebida para su ganado, causando grave daños económicos, sociales y ambientales.

La salud de la población se afectaría en gran consideración ya que el cadmio, plomo y arsénico pueden ingresar a su organismo por distintas vías, acumulándose en el poblador según las distintas cantidades absorbidas y tiempo de exposición ya sea por su ocupación o vida cotidiana.

Es por esto que la toxicología desde un enfoque ambiental debe considerar de vital importancia determinar si las aguas del río Santa que pasan por el PAM en los distritos antes mencionados tienen Cd, Pb y As en concentraciones que no superan las concentraciones mínimas dadas por las normas nacionales e internacionales

Este trabajo de investigación también tiene como finalidad brindar datos para una posterior evaluación y monitoreo de la zona, facilitando así estudios de impacto ambiental y contribuyendo así con la epidemiología de la región.

HIPÓTESIS

Las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash, están contaminadas con metales (Cd, Pb y As) por la actividad minera presente en la zona.

OBJETIVO GENERAL

Determinar los niveles de plomo, cadmio y arsénico en las aguas del río Santa en el Pasivo Minero Ambiental de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Determinar los niveles de plomo en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash.
- 2) Determinar los niveles de cadmio en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash
- 3) Determinar los niveles de arsénico en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash
- 4) Comparar los niveles de cadmio, plomo y arsénico con los límites permisibles establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” del Ministerio del Ambiente y determinar su implicancia con el medio ambiente y la salud humana.

I. GENERALIDADES

Definitivamente, la fuente primaria de contaminación inorgánica de las diversas cuencas de nuestro país son las distintas y variadas fases mineralógicas (minerales) presentes en la zona de explotación minera. En la parte alta del Río Santa (Huaraz, Perú) existe mucha influencia por la actividad minera, principalmente por la pequeña y micro minería ubicadas en dos áreas definidas: Cordillera Blanca y Cordillera Negra, localizados en las alturas de la provincia de Recuay (Recuay, Ticapampa y Catac)^{1, 2, 3}

El principal peligro de esta actividad lo constituyen algunas “canchas” de relaves depositadas muy cerca del río y con procedimientos no adecuados, lo cual conlleva a la probabilidad de una contaminación masiva ante la ocurrencia de algún fenómeno telúrico de cierta intensidad o en temporadas lluviosas.^{1, 3}

La contaminación de vegetales, frutas o tubérculos por tóxicos (cadmio, arsénico y plomo) puede ser a través del riego con las aguas del río Santa; así como también por la influencia de factores como: el clima, viento, lluvia, pH del suelo.⁴

El plomo por ejemplo, se encuentra en forma natural en el suelo de todas las partes del mundo y siempre ha existido en el ambiente que rodea al hombre. Las fuentes principales de plomo en el medio ambiente que tiene importancia para la salud humana son las aplicaciones industriales y tecnológicas, así como también las actividades extractivas en nuestro país (minería).^{5, 6}

Los estudios de evaluación ambiental territorial y de planeamiento para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa nos mencionan que es importante conocer otros tipos de contaminación a fin de su reducción correspondiente.⁷

Desde el punto de vista toxicológico, la contaminación del agua por sustancias químicas es la que más interesa. Ciertos agentes químicos como nitratos, arsénico y plomo pueden representar un riesgo para la población que las ingiere con el agua.⁸

Es por esto que se considera que el agua de consumo humano, es el agua que por su calidad química, física, bacteriológica y organoléptica es apta para el consumo humano.

Debe estar exenta de todo elemento, organismo o sustancia que ponga en riesgo la salud de los consumidores.⁹

1. Antecedentes

La minería ha sido una de las principales actividades extractivas en nuestro país, todavía es una importante fuente económica y de trabajo para la población en las distintas regiones de nuestro territorio.

En esta oportunidad nos remitiremos a la provincia de Recuay, en el departamento de Ancash, en donde la actividad minera siempre ha creado escenarios económicos, sociales y políticos. Los distritos de Ticapampa y Recuay han sido sectores de claro desarrollo minero en el pasado, pero en el presente estos distritos han quedado duramente afectados por los relaves mineros como consecuencia de este sector industrial.

Tabla 1. Elaboración

Mina / Equipo	País / Zona	Año
Gran Socavón	Perú-Cordillera Negra	1860-1900
Molino Cónico	Perú-Ticapampa	1905
Horno de Fundición	Perú-Ticapampa	1912
Huancapeti	Perú-Cordillera Negra	1900-1950
Collaracra	Perú-Cordillera Negra	1900-1960
Minera Alianza	Perú	1967-1980

Fuente: ONG Latino Perú 2010

En 1985 se profundiza la crisis minera en Ticapampa como consecuencia de la baja de los precios de los minerales en el mercado internacional, que dio lugar a una grave crisis económica y financiera con la secuela de graves problemas laborales y sociales, expresada en la desocupación masiva, subempleo, hambre y desnutrición, empeorándose con la inflación galopante de la década de nuestro país, aumentado por una mala administración por parte de la alta dirección de la compañía minera Alianza.¹⁰

Sin embargo el hecho más preocupante se ha dado en el distrito de Ticapampa en donde se está alertando a las autoridades políticas, congresistas y la sociedad civil, sobre la explotación minera en la zona así como el aprovechamiento de los relaves que se encuentra en la zona céntrica de la ciudad señalada. Se trata de permitir concesiones

mineras en zona urbana a la empresa minera Vancouver, quienes ya han solicitado la autorización ante el Instituto Geológico Mineral Metalúrgico (**INGEMMET**) la misma que ha sido ya autorizado sin estudio previo y verificación del caso.¹¹

Esta petición se interpone en las concesiones de la Cía. Minera Yahuarcocha que viene a ser Alianza, justamente donde está la cancha relavera en la ciudad de Ticapampa, que es aproximadamente de 1 000 000 m³; ubicada junto a la vía nacional. Se señala que la compañía Yahuarcocha S.A., fue multada por el Ministerio de Energía y Minas (**MINEM**) por 100 UIT por no declarar o reconocer su pasivo (relavera Ticapampa) y 250 UIT por no tener plan de cierre a la fecha.¹¹

En todo el país el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) tiene registrados 6847 pasivos ambientales mineros. Las regiones con mayores cantidades de PAM en su territorio son Ancash (1115), Cajamarca (1018), Huancavelica (830), Puno (522), Cusco (507), La Libertad (488) y Pasco (429).¹²

Pero el MINEM ha recorrido solo 13 de 65 cuencas en las que hay actividad minera, de modo que su actualización no es completa. Este año, el programa de actualización de pasivos comprende a las cuencas hidrográficas del Rímac, Lurín, Huarmey, Pativilca y Huaura. En 2013, de acuerdo con los planes, el recorrido habrá concluido. En ese momento, el número de PAM registrados habrá subido significativamente.¹²

Hace años se realizó un proyecto de “Remediación del pasivo ambiental de Ticapampa y creación de valor a los residuos inertes” que tiene como objetivos cumplir con la reglamentación ambiental vigente, el cierre definitivo de la relavera Ticapampa, minimizar los impactos sociales y ambientales, la recuperación del paisaje y la generación de un valor agregado a partir de los residuos inertes.¹³

2. Estudios anteriores de impacto ambiental

2.1 En el exterior del país

En un estudio de impacto ambiental en la provincia de Hidalgo (México) se evaluó la concentración de cadmio y plomo en aguas de su río, suelo y cultivos de su valle y se destacó la necesidad de tener normas que establezcan la acumulación tolerable de metales pesados en el suelo. En la actualidad la superficie cultivada es de 90 mil

Ha y se producen cultivos y forrajes como maíz, alfalfa, frijol, cebada y trigo entre otros. El procedimiento consistió en obtener muestras de agua, suelo, tejido vegetal y grano en tres especies y en nueve sitios, en el agua la concentración de plomo fue de 0,13 mg/L, en el follaje de trigo en sólo un mes aumentó de 0,8 mg/L a 1,4 mg/L; esto se cree por la alta carga de estos metales en el aire y en sus aguas de regadío provenientes del río. En cuanto a la concentración de cada metal en el agua, se aprecia una tendencia del Pb a incrementarse durante el periodo de muestreo, mientras que las concentraciones de Cd y Ni son más estables en la parte inicial, pero se incrementan hacia el final; por el análisis del agua de cada sitio el número de riegos y la lámina utilizada en cada uno fue posible cuantificar la cantidad de metales que se acumula anualmente en el suelo. La concentración de Cd en el agua durante el presente estudio superó el valor máximo permisible de calidad del agua para riego agrícola, las concentraciones de Ni y Pb fueron 3 y 60 veces inferiores, respectivamente, al valor máximo permisible para agua supercicial.¹⁴

Frente a notorios factores que contaminan el agua ya sea subterránea, superficial o potable se busca implementar nuevos métodos y técnicas para remover en este caso, el arsénico del agua; como describen en un estudio los investigadores de la Universidad Nacional de La Plata que trabajan en el desarrollo de un método para remover el arsénico que se encuentra en las aguas naturales y alcanzar los niveles exigidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Actualmente el modelo está listo para salir a ser testado en un lugar de aplicación real. En este sentido, García Einschlag remarcó: “queremos probar nuestro prototipo a escala real, porque no es lo mismo remover arsénico en pruebas de laboratorio que del agua de pozos. En estos casos, el contaminante viene acompañado de otras sustancias que, generalmente, hacen más difícil su eliminación”.¹⁵

En otra investigación, elevados niveles de contaminación por metales pesados fueron encontrados en sedimentos del río Haina (República Dominicana). Se investigaron los niveles de concentración de metales pesados en las aguas y sedimentos del citado río, en las proximidades de la ciudad de Santo Domingo. En el caso de los sedimentos, se comprobó la presencia de todos los metales investigados. En la mayoría de los casos los niveles de concentración encontrados se encontraron por encima de los estándares para sedimentos. Los metales cromo,

hierro, plomo, níquel y cobre resultaron ser los de más altos niveles de concentración en sedimentos.¹⁶

También se realizó un estudio de calidad de agua superficial del río San Pedro durante los años 1997 y 1999, desde su origen cerca de la ciudad de Cananea, Sonora, México hasta el límite con Estados Unidos de América. Se analizó el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica, los sulfatos y metales pesados totales: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn, utilizándose la metodología recomendada por la EPA (Environmental Protection Agency) y la CNA (Comisión Nacional del Agua). Se observó la presencia de valores elevados de algunos metales pesados totales (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), conductividad eléctrica y sulfatos; así como valores bajos de pH en ambas etapas, en las estaciones de muestreo más cercanas a la explotación minera. En orden de importancia, se encontró que la explotación minera de la región es la principal fuente de contaminación del río San Pedro.¹⁷

2.2 En la región de estudio

En la cuenca del río Santa se ha realizado en el 2009 el inventario de 153 pasivos ambientales mineros, llegando a la conclusión de la urgencia de realizar estudios de investigación para controlar la alarmante contaminación del medio físico en esta cuenca.

El proyecto al finalizar establece los parámetros técnicos preliminares a nivel piloto en relación a la caracterización granulométrica y mineralógica del relave minero de Ticapampa recomendando utilizar como material primario y agregado en la construcción de pavimentos y el diseño de bloquetas.¹⁸

Se han realizado pruebas preliminares de procesos para establecer los parámetros físicos, químicos, mecánicos y mineralógicos para establecer la metodología de caracterización del relave minero abandonado de Ticapampa donde se ve también la existencia de elementos útiles, esta caracterización definirá al relave como materia prima o insumo para otro uso y como tal permitirá prevenir, controlar, mitigar, remediar las zonas afectadas y eliminar los residuos sólidos mineros. Al reutilizar estos residuos sólidos, en el lugar geográfico actual se proporcionará un medio físico de calidad ambiental, sin alteraciones a la cadena trófica del ciclo de

vida del hombre en zonas donde se encuentran estos pasivos. Por mencionar un ejemplo, sólo en Perú, existen aproximadamente más de un billón de metros cúbicos de estos residuos sólidos, los mismos que han afectado durante décadas el entorno físico del territorio peruano en forma alarmante.¹⁸

Los afluentes del río Santa, están siendo seriamente contaminados por prácticas mineras inadecuadas, pasivos ambientales mineros, así como por efluentes urbanos no procesados o tratados y residuos sólidos que llegan alterar la calidad de las aguas de la cuenca. Se han medido concentraciones importantes de metales pesados como fierro, cobre, zinc, plomo, cadmio, arsénico y antimonio en zonas afectadas con relaves mineros como Ticapampa.¹⁹

Otro estudio hace referencia a los metales pesados presentes en la relavera de Ticapampa, la cual es un residuo sólido minero, resultado de operaciones de tratamiento de beneficio metalúrgico por flotación, que constituye un importante pasivo ambiental, que se encuentra alterando produciendo impacto negativo, debido a la contaminación del medio natural de la cuenca del río Santa. Es en ese sentido, que se realizó un análisis geoquímico de 14 puntos de muestreo, destacándose, principalmente, tres puntos de muestreo (P190, P192, P197), los cuales, según análisis geoquímico, son los más críticos, puesto que contienen mayor presencia y contenido de metales pesados.²¹

3. Ubicación

La cuenca del río Santa se encuentra ubicado en la parte central de la vertiente del pacífico, abarcando un área de 14954 Km²

El río Santa tiene como origen en la laguna de Aguash, la cual se haya ubicado en el extremo sureste del Callejón de Huaylas, a una altura aproximada de 3944 msnm. La cuenca superior del Santa comprende al río desde su nacimiento por deshielo en las altas cumbres de la cordillera blanca, en la quebrada de tuco (a su vez, vuelca sus aguas a través del río Tuco en la laguna de Conococha) hasta Recuay.^(22, 23)

La cuenca alta está influenciada por una variada e intensa actividad minera, principalmente de la pequeña minería ubicada en dos áreas mineras definidas: Cordillera Blanca en las cabeceras de los Ríos Tuco y Shique, y Cordillera Negra,

estando los mayores permisos de explotación en las alturas de los distritos de Recuay y Ticapampa.²⁴

El Pasivo Ambiental Minero de Ticapampa (compañía minera Yahuarcocha S.A.) contempla aquellas operaciones mineras que han sido abandonadas aproximadamente hace 11 años, que se encuentran ubicados en el distrito minero de Ticapampa, conocido como Mina Alianza, contiene mineralización polimetálica, esta se encuentra ubicado dentro de la Cordillera Negra y pertenece políticamente a los distritos de Ticapampa y Aija, provincias de Recuay y Aija respectivamente, departamento y región de Ancash; con altitudes entre los 4100 y 4975 m.²³

4. Problemática de los residuos mineros en el Perú. Canchas de relave

4.1 Desarrollo Histórico de la Tecnología de Relaves

Una breve revisión de la evolución del manejo de relaves a nivel mundial nos proporciona antecedentes útiles para comprender la tecnología actual. La historia documentada de la minería en el Perú data de la conquista por Pizarro en 1535. A través del viejo y nuevo mundo en ese entonces, el oro era extraído por reducción directa (fundición) de minerales excepcionalmente ricos, pero principalmente por amalgamación con mercurio. La amalgamación de los minerales de oro como son descritos por agrícolas en 1556 (y posteriormente extendida a la plata a fines del siglo XVI) se empleaba molinos de mineral impulsados por caballos para moler el mineral en un patio circular o «arrastra», algunas veces en adición a molinos primitivos cuya energía era proporcionada por caídas de agua donde ésta fuera disponible.^{29, 30}

Desde el punto de vista ambiental, la cantidad de roca chancada y de desmonte fue pequeña y se hicieron esfuerzos para recuperar y conservar el mercurio, el cual era casi tanpreciado como el mismo mineral. Sin embargo, grandes cantidades de mercurio permanecen distribuidas alrededor de la ubicación de las viejas minas de plata en el Perú y constituyen un serio riesgo ambiental aún hoy día.^{23, 25}

Sin embargo un cambio casi revolucionario se ha producido alrededor de 1990, con el creciente reconocimiento de que los depósitos de relaves, aún aquéllos físicamente estables, no pueden ser abandonados sin considerar sus efectos de largo plazo sobre el ambiente, la salud y la seguridad. Uno de tales efectos de

relaves adyacentes a áreas habitadas puede ser la ingestión directa por los niños, de partículas llevadas por el viento, tales como el plomo.²⁸

Un problema más severo conocido genéricamente como «drenaje ácido de roca» o ARD (Acid Rock Drainage), es la generación de ácido y metales acompañantes en solución debido a la oxidación de los minerales sulfurados que pueden estar contenidos en los relaves, desmontes de roca, y las superficies expuestas a la mina. Con características específicas para cada cuerpo mineralizado y difícil de generalizar, la compleja fisicoquímica y bioquímica del proceso ha sido reconocida recientemente, pero los métodos experimentales para diagnosticar el problema aún no han podido ser totalmente comprobados en la práctica.^{23, 26}

La investigación sobre métodos para mitigar el ARD en los depósitos de relaves es continuo, pero no hay método singular aplicable y apropiado para todas las condiciones. La tecnología para la mitigación del ARD está aún en su infancia y las soluciones se desarrollan para cada caso específico. Aun así, ahora se reconoce que la consideración de estos asuntos no puede postergarse hasta la clausura y abandono del depósito, pues las medidas de mitigación entonces necesarias pueden ser incompatibles con las condiciones que existan. En cambio y de acuerdo a la filosofía que ahora se conoce como «Diseño para el Cierre», estas medidas deben ser integradas desde las primeras etapas del planeamiento de relaves, con planes específicos y detallados, que cubren la estabilidad física y química desde el inicio de la descarga de relaves durante toda la vida operativa de la mina y hasta mucho más allá del cierre de la mina.^{26, 27}

4.2 Características de la industria minera

4.2.1 Industria extractiva (de recursos naturales no renovables): Cuando se extraen los recursos minerales estos no se renuevan, por esta razón la minería es una actividad que se maneja con responsabilidad y tecnología para lograr el mayor aprovechamiento de estos recursos escasos. Para lograr este mayor aprovechamiento las empresas mineras tienen como objetivo conseguir la óptima extracción de las reservas minerales con el mayor beneficio económico y con la máxima seguridad de las operaciones.^{23, 27}

4.2.2 Alto riesgo: El desarrollo de una actividad minera tiene dos etapas importantes previas a la explotación, la primera es la búsqueda del recurso mineral que depende de factores técnicos, económicos y de la naturaleza, por esa razón las evaluaciones preliminares muchas veces conducen a evaluar zonas no importantes como para desarrollar un proyecto minero. Además, el negocio minero no solamente consiste en ubicar un depósito mineral sino llegar a determinar en una segunda etapa que este sea económicamente explotable, esta evaluación es función de factores endógenos: calidad del mineral, cantidad del mineral, capital disponible, tecnología a emplear, etc., así como de factores exógenos: precios de los metales, política tributaria, marco legal, etc.^{23, 27}

4.2.3 Ciclo de vida marcado por etapas: El proceso minero tiene diversas etapas de desarrollo que tendrán un periodo de maduración variable y que depende del capital con el que se cuenta, la magnitud del proyecto, el tipo de mineral, etc. Generalmente la actividad minera es de mediana a larga maduración.²⁹

4.2.4 Localización determinada: (se ubica donde se encuentra el depósito mineral): Una de las características importantes de la minería y que la diferencia de las demás actividades económicas, es que se desarrolla en donde se encuentra el recurso mineral. Cualquier otra actividad económica se desarrolla en el lugar en donde se escoja ubicarla, en la minería hay que ir al lugar donde se encuentra ubicado el depósito mineral. Esta característica hace que la minería se convierta en un factor importante de descentralización y generador de polos de desarrollo al interior del país, muchas de ellas en zonas o poblaciones rurales que no han tenido la oportunidad de lograr tener desarrollo de ningún tipo.²⁹

4.2.5 Alta relación entre producto y desperdicio: La extracción de recursos minerales implica extraer recursos valiosos de la corteza terrestre, los cuales están en contenidos muy bajos, esto implica el desarrollar todo un proceso de separación de contenidos valiosos y no valiosos, en los que lógicamente la cantidad de material no valioso superar en cantidad a los valiosos, dando en consecuencia una alta relación de desperdicio/producto, lo que origina

diseñar todo un proceso de disposición de estos materiales no valiosos, dependiente con el proceso tecnológico seguido.²⁵

4.2.6 Impacto ecológico Dada la característica del proceso minero que el de remover grandes cantidades de materiales, el o afecta al entorno al impactar sobre la geografía de la zona, por otro lado, la disposición de dichos materiales y la tecnología empleada muchas veces puede ocasionar un gran impacto en la zona, lo que se controla con planes de monitoreo, evaluación constante y restauración paralela al proceso productivo.²⁴

5. Tipos de yacimientos

Los yacimientos en general, se pueden clasificar en cuatro grupos principales:

5.1 Vetas: Yacimiento compuesto por un cuerpo mineral de forma alargada, limitado por planos irregulares de rocas denominadas “encajonantes”. Generalmente la veta es vertical. Cuando el cuerpo mineral aparece tendido o echado se le llama “manto”. Las vetas constituyen el tipo de yacimiento más común en nuestro medio.^{25, 29}

5.2 Diseminado: Se llama así al cuerpo mineral que aparece en forma de hilos que atraviesan la roca en todas direcciones, o bien como puntos o motas de mineral que cubren grandes extensiones, ejemplo yacimientos auríferos de Cajamarca.^{25, 29}

5.3 Aluvial: Es un yacimiento formado por el transporte de gravas, limo y minerales pesados de diferentes formas y tamaños, que están depositados en las arenas o lechos de los ríos o mares. Generalmente son de oro, tungsteno y titanio. Como ejemplos de estos yacimientos se tienen los lavaderos de Sandia en Puno, de Palasca en Ancash y los de Madre de Dios.^{25, 29}

6. Características del Plomo, Arsénico y Cadmio que produce el Perú

6.1 El plomo (Pb)

6.1.1 Minerales de plomo: Los principales minerales de plomo son los siguientes en orden de importancia: Galena (PbS), Cerusita (PbCO₃), Anglesita (PbSO₄)^{42,43}

6.1.2 Extracción del plomo: Luego de extraído el mineral o mena de la mina se le somete a una operación de flotación diferencial para separar la mena del plomo (PbS). El concentrado se lleva luego a la fundición en donde se realiza una operación de tostado aglomerante (sintering) que sirve para agrupar las partículas finas. Posteriormente en el horno de fundición se mezclan los trozos aglomerados o sinter con una cantidad de coque, que sirve como reductor a la vez como combustible, y de fundentes como sílice y carbonato de calcio. El plomo corre hacia abajo y los fundentes forman la escoria con las impurezas que flotan sobre el plomo líquido. El plomo es luego moldeado formando los ánodos de plomo impuro listo a ser refinado. En la etapa de refinación, el plomo se separa electrolíticamente del cobre, zinc, arsénico y otros elementos, que quedan en la celda como lodos anódicos. Estos se refinan luego, puesto que pueden contener otros metales importantes como oro, plata, selenio y telurio.^{42, 43}

6.2 El arsénico (As)

6.2.1 Obtención del arsénico: Se obtiene como subproducto ya que está asociado a otros minerales de cobre y plomo con contenidos de Enargita; depósitos de cobre con piritas arsenicales; depósitos de níquel, cobalto, arsénico y plata nativa; depósitos de oro arsenical; depósitos de sulfuro arsenical con oro y sulfuro de arsénico y depósito de estaño arsenical.^{45,46}

6.2.2 Usos del arsénico: Productos químicos, usados en agricultura como pesticidas, industria del vidrio y cristal. Reactivos inorgánicos industriales, empleados como catalizadores y reactivos aleaciones no ferrosas con cobre y plomo.^{45, 46}

6.3 El cadmio (Cd)

6.3.1 Obtención del cadmio: Se obtiene principalmente en los procesos de refinación del zinc y menor grado en la refinación del plomo, también se obtiene como subproducto a partir de la tierra o chatarra de baterías.^{43, 45,46}

6.3.2 Usos del cadmio: Se utiliza principalmente en la fabricación de baterías: la mayor aplicación es en baterías de níquel cadmio. Pigmentos: las sales de cadmio se utilizan como pigmentos en plásticos y cerámicos. Estabilizadores: en

la manufactura de PVC. Recubrimiento: como cubierta galvanizada para proteger equipos contra la corrosión marina. Otros: en la industria nuclear como retardador de las reacciones involucradas.^{43, 45, 46}

7. Clasificación de la minería peruana

Considerando el marco normativo vigente y la clasificación de Guillermo García Montufar, presentamos los tipos de concesiones mineras según diversos criterios de clasificación.⁵⁰

7.1 Tipos de concesiones mineras según criterios de clasificación

7.1.2 Por su tipo de actividad

7.1.2.1 Exploración y explotación

La legislación vigente considera ambas actividades mineras como parte de una concesión; mientras que en el régimen de denuncios del Decreto Legislativo 109 cada una daba lugar a distinta concesión.^{50, 52}

7.1.2.2 Exploración

La exploración es la búsqueda de depósitos minerales. Implica demostrar las dimensiones de posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos minerales, considerando para ello dos etapas: la exploración superficial o preliminar, y la exploración a fondo o definitiva.^{50, 52, 60}

La etapa de exploración a fondo es la más importante pues allí se combinan los trabajos de campo y laboratorio, a fin de determinar las características geológicas, la magnitud en extensión y profundidad del depósito o yacimiento y la composición probable de los minerales, realizándose para ello un estudio de factibilidad que determine las condiciones de explotación, los medios técnicos de beneficios y los rendimientos probables^{50, 52, 60}.



Figura 1. Trabajo de campo y laboratorio en la exploración minera

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

La exploración comprende un trabajo de campo con el cual se conforma un archivo. Luego, se realiza un análisis de las muestras en el laboratorio para determinar la cantidad y calidad del mineral posible de extraer. Finalmente, se realiza el estudio de factibilidad y se determinan las reservas, tonelaje y leyes.^{50, 52, 60}

7.1.2.3 Explotación

La explotación minera es la actividad de extracción de los minerales contenidos en un yacimiento. Comprende las facultades de desarrollar el yacimiento, prepararlo y comercializar los minerales obtenidos.^{50, 52, 60}

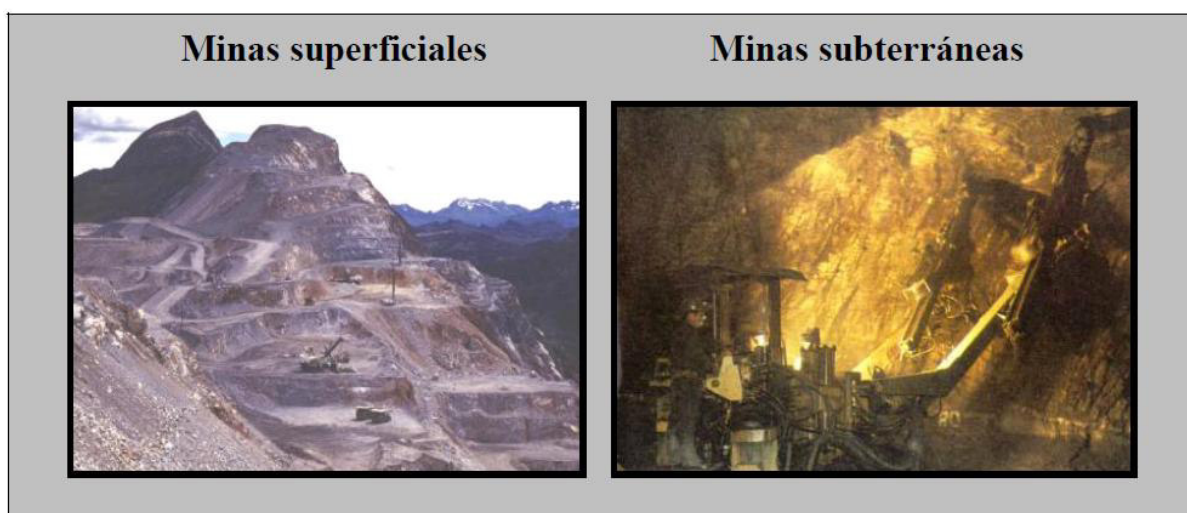


Figura 2. Preparación del yacimiento en la explotación minera

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

7.2 Preparación del yacimiento. En el caso de minas superficiales se realiza una labor de desbroce hasta llegar al mineral, luego se realizan labores de acceso al yacimiento. En el caso de minas subterráneas se realizan galerías, piques, chimeneas, rampas, etc.^{49, 52}

Tabla 2. Preparación del yacimiento

Labores	Definición
Socavón	Labor labrada, a menudo, en la ladera del cerro y que se interna a su interior en forma paralela al horizonte.
Pique	Labor construida verticalmente en el cerro. Se llama “chimenea” si su fin es dar ventilación a los lugares de trabajo
Chiflón	Socavón labrado en plano inclinado.
Galerías	Labores interiores que conducen a los frentes de trabajo.
Tajo abierto “open pit” u “open cast”	Labores se caracterizan por su alta productividad y bajos costos de producción. Tal es el caso de los yacimientos mineros de SPCC, Antamina.

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN)

Comprende labores peculiares (túneles) como socavón, pique, chiflón, galerías, y labores mineras de tajo abierto “open pit” u “open cast”.

Los concesionarios de exploración/explotación ejercen titularidad sobre las sustancias minerales halladas dentro del perímetro del área concedida, incluyendo los desmontes, que de acuerdo a la legislación vigente son parte accesoria de la concesión.^{49, 52}



Figura 3. Explotación minera superficial
Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

7.2.1 Minería superficial: El proceso cíclico comprende perforación, voladura, carguío y transporte. El método de explotación superficial es empleado por la gran minería e implica altas producciones.

Uno de los principales problemas que enfrenta el titular minero es el acuerdo previo con los propietarios superficiales del predio donde se ubica el yacimiento minero. De no llegarse a una solución privada, se sigue el régimen de servidumbre minera en concordancia con lo dispuesto en la Ley N° 26505, denominada Ley de Tierras. La concesión de exploración/explotación es de plazo indefinido.^{49, 51, 52}

7.2.2 Minería subterránea. El ciclo típico es perforación, voladura, acarreo y transporte fuera de la mina (rieles o ruedas). En minas subterráneas se realizan galerías, piques, chimeneas, rampas, etc.

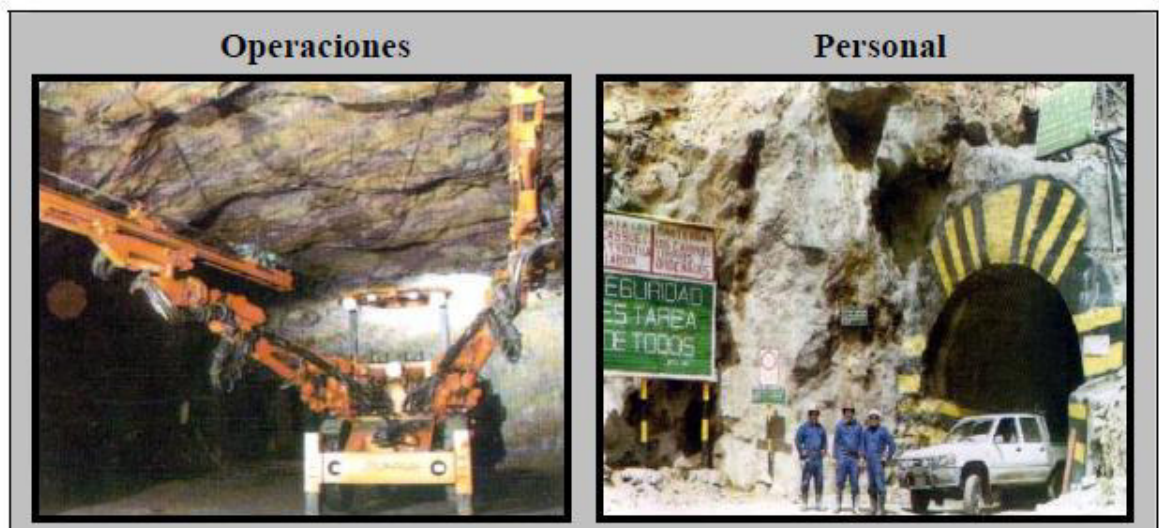


Figura 4. Explotación minera subterránea

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

7.3 Beneficio

Es el conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico-químicos que se realizan para extraer o concentrar las partes valiosas de un agregado de minerales y/o para purificar, fundir o refinar metales.^{49, 52, 53}

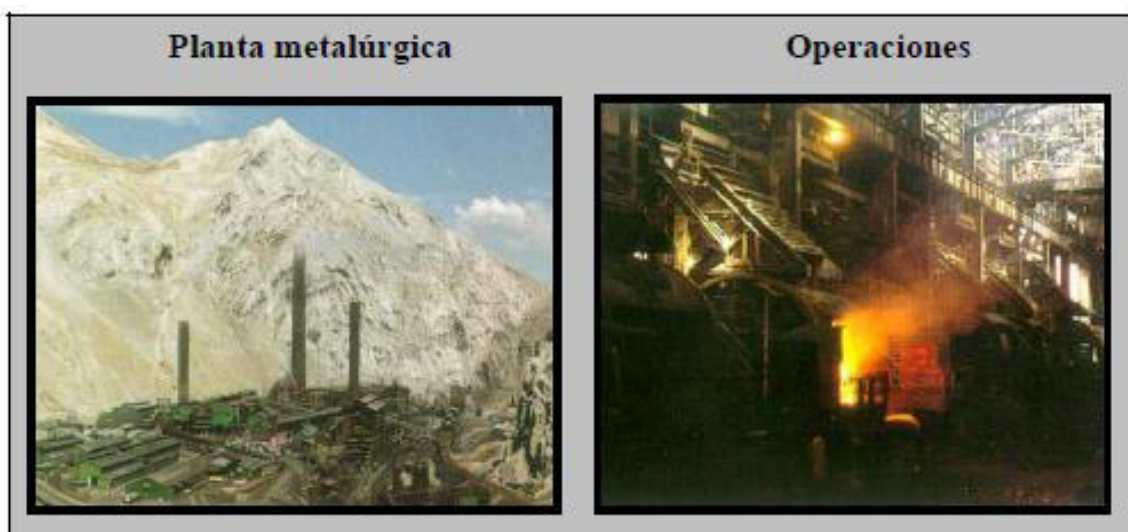


Figura 5. Concesión de beneficio

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

Comprende la fundición y refinación. Cuando el mineral sale de la mina se somete a un proceso metalúrgico para mejorar su ley al que se denomina concentración. La fundición sucede en las plantas metalúrgicas de fundición donde el mineral concentrado es elevado a altas temperaturas para eliminar sus impurezas y poder refinarlo posteriormente.^{49, 52, 53, 54}

La minería de beneficio comprende las siguientes etapas:

Tabla 3. Etapas de la minería de beneficio

Etapas	Definición
Preparación Mecánica	Consiste en el proceso de reducción de tamaño, clasificación y lavado del mineral.
Metalurgia	En esta etapa se concentran y/o extraen sustancias valiosas de los minerales ²⁶ .
Refinación	Consiste en la purificación de metales obtenidos de los procedimientos metalúrgicos ²⁷ .

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN)

El beneficio de minerales se produce en plantas, fundiciones, refinerías y otros establecimientos similares. Es una concesión de plazo indefinido.

7.4 Transporte minero

Esta concesión implica el transporte masivo continuo de productos minerales empleando fajas transportadoras, tuberías, cables carriles o sistemas de transporte previamente aprobados por la Dirección General de Minería, con informe favorable del Ministerio de Transporte y Comunicaciones y opinión del Consejo de Minería.

Como se aprecia de su definición, esta actividad no implica necesariamente el uso de unidades móviles, variando en función a la distancia, estado y clase de mineral a transportarse.^{52, 53, 54}

7.5 Por la naturaleza de las sustancias

En el marco peruano vigente, las concesiones mineras pueden clasificarse como metálicas o no metálicas, no existiendo prioridad o superposición entre éstas como sucedía cuando estaba en vigencia el Decreto Legislativo 109^{52, 53, 54}

Tabla 4. Clasificación de concesiones según la naturaleza de las sustancias

Tipos de concesión	Comentarios
1) Metálicas	Clasificándose a su vez en el ámbito de la industria internacional en metales preciosos (oro, plata y platino) y no preciosos. Se incluyen las sustancias radioactivas.
2) No metálicas	Materiales de construcción, que se encuentran depositados en canteras y álveos o cauces de los ríos, así como sustancias salinas, entre otras ³³
3) Carboníferas	Pueden ser de distintas variedades (antracita, hulla, lignito y turba) ³⁴
4) Geotérmicas³⁵	Tienen como fin al aprovechamiento de los recursos geotérmicos ³⁶ del suelo y del subsuelo del territorio nacional.
5) Petróleo	En nuestro caso, el petróleo cuenta con un tratamiento particular y distinto al ámbito minero.
6) Piedras preciosas y semipreciosas	Por su naturaleza constituyen minerales no metálicos. No han sido objeto de tratamiento expreso en nuestra legislación minera.

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (**OSINERGMIN**)

7.6 Por la forma de los yacimientos

De acuerdo a la forma de los yacimientos, tenemos la siguiente clasificación:

- 1) Capas o mantos
- 2) Vetas o filones
- 3) Formaciones irregulares

Otros clasifican a los yacimientos por su forma:

- 1) De aluvión, que se encuentran en los lechos aluviales.
- 2) De veta en rocas
- 3) De sedimento en capas

7.7 Por su método de explotación

- 1) De superficie, denominados también a cielo o tajo abierto
- 2) Subterráneos o de socavón.

7.8 Por el valor económico de las sustancias

- 1) Es variable según la oferta y demanda, así como la importancia industrial del
- 2) mineral. Se debe tener en cuenta si el mineral evaluado está reservado
- 3) estratégicamente por el Estado dado su interés público o sujeto a libre acceso de particulares.

7.9 Por la ubicación de los minerales

- 1) De suelo
- 2) De subsuelo

7.10 Según su denunciabilidad

- 1) Pueden ser entregados en concesión
- 2) No pueden ser entregados en concesión.

7.11 Por su tamaño

La Minería peruana se encuentra concentrada en los medianos y grandes productores. Considerando el tamaño de actividad, podemos clasificarla bajo dos criterios: según el tamaño de la concesión (i.e. según el número de hectáreas que poseen) y según la capacidad productiva (i.e. según el número de toneladas métricas que producen por día).^{55, 56, 57, 58, 59}

Tabla 5. Clasificación de la minería por su tamaño

Criterio	Gran Minería	Mediana Minería	Pequeña Minería	Minería Artesanal
Según el tamaño de la concesión	No aplica (*)		Más de 1000 hasta 2000 Hectáreas (Has)	Hasta 1000 Hectáreas (Has)
Según la capacidad productiva	Más de 5000 t/d	Más de 350 hasta 5000 toneladas / día	Más de 25 hasta 350 toneladas / día	Hasta 25 toneladas / día

Fuente: MINEM, Estratos contemplados en la Ley General de Minería, INEI.

- 1) Gran minería.** Cuando la actividad se realiza con una capacidad productiva mayor a 5000 TM (según el tamaño de la producción).
- 2) Mediana minería.** Cuando la actividad se realiza con una capacidad productiva entre 350 y 5000 TM.
- 3) Pequeña minería.** Cuando la actividad se realiza en un terreno menor a 2000 hectáreas y/o con una capacidad productiva entre 25 y 350 TM.

4) **Minería artesanal.** Cuando la actividad se realiza en un terreno menor a 1000 hectáreas y/o con una capacidad productiva menor a 25 TM.

7.12 Por el tipo de producción

Se identifica el volumen de la producción por tipo de mineral que es producido ya sea por la gran, mediana o pequeña minería, tal como se muestra en la siguiente tabla.^{55, 56, 57, 58, 59}

Tabla 6. Distribución de la producción minera por producto y tamaño 2006

Producto	Tamaño de actividad						Total General
	Minería grande y mediana			Minería pequeña y artesanal			
	Grande	Mediana	Total Grande y mediana	Pequeña	Artesanal	Total Pequeña y artesanal	
Hierro	100%	...	100%	100%
Estaño	100%	...	100%	100%
Cobre	93.8%	6.1%	99.9%	0.1%	...	0.1%	100%
Zinc	34.2%	64.1%	98.3%	1.7%	...	1.7%	100%
Plata	30.2%	66.6%	96.8%	3.2%	...	3.2%	100%
Plomo	22.2%	73.4%	95.6%	4.4%	...	4.4%	100%
Oro	66.2%	25.6%	91.8%	0.4%	7.8%	8.2%	100%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

7.13 Por su legalidad

1) Minería Formal: Son aquellas minas que cuentan con derechos de explotación de las zonas con presencia de minerales y que desarrollan sus operaciones dentro del marco legal.

2) Minería Informal: Son aquellas minas que no cuentan con derechos de explotación de zonas con presencia de minerales. Gran parte de la minería artesanal desempeña sus actividades bajo esta modalidad (aproximadamente el 60%)^{55, 56, 57, 58, 59}

La minería informal explota exclusivamente oro y se desarrolla mayormente en denuncios abandonados en donde no es rentable hacer una gran inversión.^{55, 56, 57, 58}

Genera empleo a un promedio de 150 mil personas que trabajan en la minería informal y extraen unas 40 toneladas de oro al año. Se concentran en cuatro zonas del país:

Madre de Dios, la zona alta del departamento de Puno, en el Sur Medio (Departamentos de Ica, Arequipa y parte de Ayacucho) y la sierra del departamento de La Libertad.^{55, 56, 57,58, 59}

A su vez, la minería informal puede ser diferenciada en dos tipos:

1. **Explotación minera evasiva:** El término “evasivo” se aplica a una persona natural que realiza actividades productivas completamente fuera del marco legal y no paga ningún impuesto. Este segmento está comprendido principalmente por la minería artesanal. Tienen la característica de usar tecnología muy rudimentaria y depender casi exclusivamente de la mano de obra humana.^{55, 56, 57,58}
2. **Explotación minera elusiva** (ampliaciones sin autorización). El término “elusivo” se aplica a una persona natural o jurídica que opera dentro del marco legal, pero que no declara completamente sus operaciones y paga impuestos menores a los que corresponde. Este segmento no necesariamente opera con tecnología rudimentaria, pero evita los costos adicionales y controles que impone el Estado^{55, 56, 57,58,59}

La minería informal muchas veces genera impactos negativos al medio ambiente (contaminación) y a la salud debido a la tecnología rudimentaria que utilizan. En el procesamiento de los minerales muchos de ellos utilizan mercurio o cianuro de potasio o de sodio que luego son vertidos en los suelos dañando el medio ambiente y la salud de los mineros artesanales. Asimismo, al no ser dueños de los yacimientos que explotan no tienen el menor cuidado en conservar y proteger dichas áreas, esto determina que su manejo ambiental y de seguridad e higiene sea sumamente ineficiente.^{55, 56, 57,58,59}

8. Contaminación de los recursos hídricos

8.1 Estudios de impacto ambiental

Se define impacto ambiental como la “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”.

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es uno de los instrumentos de la política ambiental con aplicación específica e incidencia directa en las actividades productivas, que permite plantear opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales.³¹ En

las últimas dos décadas la EIA ha logrado constituir como una de las herramientas esenciales para prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente y los recursos renovables del país. Se orienta a los impactos ambientales que eventualmente podrían ser provocados por obras o actividades que se encuentran en etapa de proyecto (impactos potenciales), es decir, que no han sido iniciadas.

La EIA tiene sus bases jurídicas en las disposiciones que al respecto establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.^{31, 37}

Así, la EIA está dirigida a efectuar el análisis detallado de los diversos proyectos de desarrollo y del sitio donde se pretenden realizar, con el propósito de identificar y cuantificar los impactos ambientales que puede ocasionar su ejecución³¹

8.2 La Calidad del agua

A través de la historia de la humanidad, la acción del hombre sobre la naturaleza ha generado e inducido modificaciones de las que por mucho tiempo ha ignorado su efecto. Los productos de la ciencia y la industria (procesos de extracción, explotación de los recursos naturales y procesos científicos que generan su transformación y síntesis artificial) constituyen una cadena de aciertos y errores que la sociedad padece o disfruta, sin mayor conciencia de ello.^{32,33} En tiempos actuales la contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema digno de tomarse en cuenta debido a que el uso intensivo, la degradación creciente y los problemas de salud como el deterioro de los acuíferos, la disminución de fuentes de abastecimiento de fuentes de agua potable está en función de su utilización y está definida por un determinado número de parámetros cualitativos y cuantitativos. Ciertas prácticas de aprovechamiento de la naturaleza y sus riquezas, conllevan efectos que alteran la estabilidad de los ecosistemas, afectan la sustentabilidad de los recursos naturales y actúan sobre la salud de los seres vivos en forma negativa.^{31, 32,}

33

Según la OMS (2000), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterada de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural. Una definición de la contaminación del agua dice que el medio acuático está contaminado cuando la composición o el estado del

agua están modificados, directa o indirectamente, por el hombre (Ministerio de Medio ambiente, 2000) o por eventos de la naturaleza.^{31, 32, 33}

Cuando un río o un lago reciben descargas de aguas residuales o agrícolas, con altos contenidos de nutrientes, puede producirse una fertilización excesiva de las aguas. Ello provoca el envejecimiento prematuro del cuerpo receptor, con la consecuente pérdida de oxígeno disuelto y proliferación de malezas acuática.^{31, 32, 33}

El ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua, muchos organismos que viven y se reproducen en ella son afectados por la contaminación de la misma, lo cual paralelamente lastima el ciclo vital de otras especies animales y vegetales acuáticas. Por otro lado es importante señalar que la presencia o ausencia de algunos microorganismos en los sistemas acuáticos son indicadores de calidad o ausencia de la misma, esto es conocido como biomonitoreo.³⁵

La calidad del agua interesa desde diversos puntos de vista:

- 1 Utilización fuera del lugar donde se encuentra (agua potable, usos domésticos, urbanos e industriales, riego)
- 2 Utilización del curso o masa de agua (actividades recreativas: baño, remo, pesca, etc.)
- 3 Como medio acuático, que acoge especies animales y vegetales

Por lo tanto, hablar de calidad del agua siempre conlleva a integrar el factor de su utilización para una correcta ponderación de dicha calidad, dado que sus características de composición pueden indicar que son aptas para algunos usos determinados y excluyentes para otros, de modo que se presta menos fácilmente a todas o algunas de las utilidades para las que podría servir en su estado natural.^{33, 34, 35}

En la determinación de la disponibilidad del agua en un país, no solamente es necesario saber la cantidad de agua que está a nuestro alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, también es muy importante conocerse las características físico - químicas y bacteriológicas del agua para estar en condiciones de darle un uso en las diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento de poblaciones.^{33, 34, 35}

Los criterios y normas de calidad del agua pueden definirse como los niveles o concentraciones que deben respetarse para un uso determinado. Son muchos los usos que pueden darse al agua, pero aquellos que involucran criterios de calidad del agua son principalmente los siguientes: 1) abastecimiento para sistemas de agua potable e industrias alimenticias, 2) usos recreativos, 3) conservación de la flora y fauna, 4) uso agrícola e industrial, 5) acuicultura y riego. El manejo de la calidad del agua se mejora con la aplicación de las normas de calidad para cuerpos receptores y descargas de aguas residuales.^{33, 34, 35}

8.3 Principales indicadores de calidad del agua

La manera de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o ratios de las medidas de ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que viene definida por ciertos estándares o criterios.³⁵

Los parámetros físicos son: la transparencia, turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad eléctrica y pH.³⁵

8.3.1 Turbiedad: Es el “nublamiento” ocasionado por la presencia de material suspendido. Algunos materiales que dan al agua esta apariencia son: barro, arena, material orgánico finamente dividido, plancton y otros materiales inorgánicos.⁴⁷

8.3.2. Color: Lo causa el material orgánico disuelto de vegetación en descomposición y cierta materia inorgánica en el agua. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación.⁴⁷

8.3.3 Olor y Sabor: Los compuestos químicos presentes en el agua pueden darle olores y sabores muy fuertes aunque estén en pequeñas concentraciones, algunos de estos compuestos: fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.⁴⁷

8.3.4 Temperatura: La temperatura óptima del agua para beber está entre los 10 y los 15°C, es consistentemente fría y no tiene variaciones de temperatura de

más de unos pocos grados. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (como el oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura también afecta la percepción sensitiva de sabores y olores.⁴⁷

8.3.5 Conductividad: El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.⁴⁷

Los **parámetros químicos** son los más importantes para definir la calidad del agua, existe una extensa lista de ellos siendo posible agruparles en:

1. Sustancias presentes naturalmente y sustancias vertidas artificialmente. Como no hay un límite bien marcado entre unas y otras, ya que muchas pueden proceder de ambas fuentes (nitrógeno, fenoles, etc.), las estimaciones deben hacerse en función de diferencias de concentración y no de los valores absolutos.^{46, 47}
2. Sustancias y caracteres estables, inestables, ligeramente estables. Esta agrupación se usa cuando hay que decidir los análisis u observaciones a realizar in situ en un laboratorio móvil o en laboratorio permanente.^{46, 47}
3. Sustancias presentes habitualmente en cantidades grandes y sustancias presentes en cantidades pequeñas. Las primeras deben ser analizadas con frecuencia y corresponden a los iones más importantes, el oxígeno disuelto, etc., algunos contaminantes, como detergentes y los derivados del petróleo). Las segundas deben ser analizadas solo en la investigación preliminar o en observaciones muy detalladas.^{46, 47}

Los **parámetros biológicos** incluyen diversas especies microbiológicas patógenas al hombre así como virus y diversos invertebrados. Últimamente se utilizan los llamados “índices bióticos”, que se construyen en función de la presencia de ciertas especies (generalmente taxones), y se comportan como indicadores de los niveles de contaminación, así como de las variaciones de la estructura de la comunidad biótica ocasionadas por la alteración del medio acuático. La selección de los

parámetros se puede determinar en función de los usos del agua, siendo los más comunes el uso doméstico, industrial, riego, recreo y vida acuática, variando el número y tipo de parámetros ya que las exigencias de calidad son diferentes.^{46, 47}

Los estándares constituyen un punto de referencia para determinar la calidad del agua, y sufren de frecuentes revisiones a medida que se avanza en el estudio de las consecuencias de la contaminación y son, en todo caso, independientes del propio medio que se pretende estudiar, lo que lleva a pensar en la conveniencia de establecer estándares diferentes para contextos territoriales distintos. Existen diferentes estándares de calidad que cada país, región o comunidad adopta según sus criterios de seguridad establecidos.^{46, 47}

8.4 Principales grupos de contaminantes en el agua

El agua recibe diversos agentes contaminantes, en función de múltiples fuentes generadoras, tanto de actividades antrópicas como naturales que se pueden presentar en la cuenca. En las tablas 7 a 10 se enumeran algunos de los principales contaminantes, su principal origen y efectos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000), así mismo, se describen algunos de los principales procesos de contaminación y sus efectos^{39, 40}

Tabla 7. Químicos inorgánicos contaminantes del agua

<i>Contaminante</i>	<i>MNMC¹ (mg/L) ⁴</i>	<i>NMC² o TT³(mg/L)⁴</i>	<i>Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC</i>
Arsénico	ninguno ⁵	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; TT ⁶	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados
Plomo	Cero	Nivel de acción=0.015; TT ⁶	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 8. Químicos orgánicos contaminantes del agua

<i>Contaminante</i>	<i>MNMC¹ (mg/L) ⁴</i>	<i>NMC² o TT³(mg/L)⁴</i>	<i>Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC</i>
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 9. Microorganismos contaminantes del agua

<i>Contaminante</i>	<i>MNMC¹ (mg/L) ⁴</i>	<i>NMC² o TT³(mg/L)⁴</i>	<i>Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC</i>
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y E. Coli)	cero	5.0% ¹⁰	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 10. Procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

<i>Contaminantes y procesos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuentes</i>
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (E. Coli, protistos, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como químicos disruptores endocrinos, cianotoxinas, compuestos órgano estánicos de pinturas antiincrustantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Químicos traza y compuestos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos.	Industria química y farmacia.
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

8.5 Importancia del análisis de los metales pesados

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos está dada por sus características: elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos.^{34, 39, 41, 43}

La investigación de la presencia de metales pesados en determinadas zonas, permite conocer las rutas de contaminantes y su interacción con otras sustancias presentes. El aporte de información contribuye al diagnóstico de cada cuenca y por consiguiente a facilitar la toma de decisiones en proyectos posteriores, sobre todo en decisiones de carácter gubernamental.^{34, 39, 41, 43}

8.5.1 Efectos en el ambiente

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables.

Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. Dicho fenómeno se da con los metales mercurio y aluminio, en mamíferos consumidores de pescado y en pájaros insectívoros respectivamente.^{44, 45, 46}

Se sabe muy poco sobre los efectos de los metales en los ecosistemas. En los lugares en que aguas de drenaje de minas fluyen en cursos de agua dulce se producen con frecuencia efectos ecológicos evidentes como, por ejemplo, una gran reducción de la fauna invertebrada y la ausencia de peces.^{44, 45, 46}

Los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática; es decir, tienen una alta biodisponibilidad en este medio (capacidad de interacción de un contaminante en el sistema biológico). Los metales que se bioconcentran (concentración del contaminante en los tejidos de la biota con la concentración de ese mismo contaminante en el medio) en las algas marinas son el aluminio, cobre, mercurio, manganeso, níquel, plomo y zinc. En la biota acuática se acumulan principalmente el cadmio y el mercurio; el manganeso en el esqueleto de los peces.^{43, 45, 46}

Esta acumulación depende de la acidez del medio acuoso y de la disminución de la concentración acuática del calcio.

De los metales, el más tóxico para los peces es el aluminio. De la concentración total del metal, solo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos.

Una vez alcanzadas concentraciones tóxicas, puede necesitarse mucho tiempo para reducirlas a niveles no tóxicos. Ningún contaminante actúa en forma aislada sobre un receptor. La capacidad de absorción de metales por las plantas varía con la acidez, el contenido orgánico y otras características del suelo.^{43, 45, 46}

8.5.2 Importancia del análisis de los metales pesados en sedimentos de río

El análisis de metales pesados en sedimentos de río permite detectar la contaminación que puede escapar al análisis de las aguas y también proporciona información acerca de las zonas críticas del sistema acuático.^{40, 42}

El estudio de la fracción biodisponible o móvil de metales ligados a sedimentos es más importante que la concentración total del metal en las corrientes fluviales. Se puede realizar dos tipos de determinaciones: 1) La concentración total de metales, que proporciona una evaluación del nivel de contaminación y, 2) La especiación o el estudio de las diferentes formas químicas en las que se encuentra el metal, esta proporciona información respecto a la biodisponibilidad en determinadas condiciones medioambientales.^{33, 34}

Los porcentajes de metales en las diferentes fracciones varían de acuerdo a la magnitud de la contaminación de los sedimentos. Esta variabilidad es resultado de las propiedades de los metales y de la competición entre la adsorción de sedimentos.^{33, 34}

Es posible esperar que los metales en los sedimentos estén distribuidos siguiendo un patrón que es consistente con los procesos dinámicos locales.

Para entender el comportamiento químico y biodisponibilidad de metales en los sedimentos y caracterizar su composición elemental, es decir, los sedimentos bajo cambios en las condiciones ambientales, es de gran utilidad determinar las diversas formas químicas en que se encuentran, así como el tipo de sustrato al que se hallan asociados los cationes metálicos en los sedimentos.^{33, 34}

8.6 Metales Pesados

Los metales pesados se encuentran en forma aislada o combinados formando minerales. Pueden encontrarse en mayores cantidades en los extractos profundos de los ríos y en menor proporción en la superficie, los mantos acuíferos no contaminados pueden contener cantidades muy pequeñas.^{42, 43}

Dentro de los metales pesados hay dos clasificaciones:

1. **Oligoelementos o micronutrientes** que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital.

Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn. Estos elementos minoritarios se encuentran en muy bajas concentraciones en el suelo y agua. Pasado cierto umbral biológico se vuelven tóxicos. La ausencia de estos micronutrientes causa enfermedades y su exceso intoxicaciones.^{42, 43}

2. **Metales pesados sin función biológica conocida**, su presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, generan disfunciones en el funcionamiento de sus organismos, produciendo inhibición de las actividades enzimáticas.

Son altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. A este grupo pertenecen principalmente: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), plomo, cobre, níquel, antimonio, bismuto. La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica.^{42, 43}

8.6.1 Efectos tóxicos de los metales pesados

Entre los metales que tienen más probabilidades de causar problemas figuran el cobre, el cadmio, el mercurio, el manganeso, el cobalto y el níquel. Se consideran tóxicos si resulta perjudicial para el crecimiento o el metabolismo de las células al exceder cierta concentración, algunos de ellos constituyen venenos graves incluso a concentraciones muy bajas.^{36, 38} La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumenta las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos.

La toxicidad de un metal depende de su vía de administración y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células. La toxicidad es el resultado de: a) cuando el organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un periodo prolongado, b) cuando el metal se presenta en forma bioquímica inusitada o, c) cuando el organismo lo absorbe por una vía inusitada.

También tienen gran influencia otras variables, como la presencia de otras sustancias, la edad, la nutrición o el embarazo.^{36, 38, 39}

Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de estos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando.^{36, 38, 39}

8.7 Contaminación por metales pesados

8.7.1 Origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana.^{35, 38, 39}

8.7.2 Origen natural

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo (Adriano, 1986). Una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual. La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota).^{35, 38, 39}

8.7.3 Origen antropogénico

Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados.^{43, 45}

Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado.

En la tabla 11 están recogidos algunos de los procesos industriales por los que se introducen metales pesados en el medio ambiente.

En las zonas de estudio, los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico.^{44, 45}

8.7.4 Origen agropecuario Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas (tablas 11 y 12), fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono, el empleo sistemático de fertilizantes, biosidas, y abonos orgánicos son el principal foco de contaminación difusa de los suelos, así como la eliminación incontrolada de los envases de dichos productos, que generalmente son depositados en vertederos para residuos no peligrosos o abandonados en los campos. Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no solo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados.^{44, 45, 46}

Los contaminantes de origen ganadero son los debidos a los desechos de los animales y a los que proceden del lavado de establos y granjas. La concentración de metales en dichos materiales es variable y depende del tipo de ganado del que se trate, de la edad del animal, tipo de establo e incluso del manejo de los desechos.^{44, 45, 46}

Tabla 11. Principales orígenes antropogénicos de los metales pesados

Origen	Sb	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Baterías eléctricas			*	*			*	*	
Cementos y amiantos					*				
Chapados metálicos					*				
Curtidos metálicos				*	*				
Curtidos de pieles				*	*				
Eléctrica y electrónica			*	*	*		*	*	*
Farmacéuticas		*		*	*				*
Fertilizantes		*	*	*	*	*	*	*	*
Fotografía			*	*	*			*	
Fundiciones		*	*	*	*		*	*	*
Galvanizados, electrochapados			*	*	*		*	*	*
Minería	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Motores de vehículos, chapados de aviones			*	*	*				*
Municiones y explosivos				*	*			*	
Papeleras y similares				*	*		*	*	*
Pesticidas		*		*	*	*		*	*
Pigmentos, tintes, tintas, pinturas	*		*	*	*		*	*	*
Plásticos	*		*		*				*
Químicas, petroquímica	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Textiles	*			*	*				*
Vitrocerámica			*				*	*	

Fuente: Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro México

Tabla 12. Proporciones de metales pesados en algunos pesticidas recomendados en agricultura

Sustancia	Composición Metálica
<i>Insecticidas</i>	
Aceto-arsenito de cobre	2.3% as; 39% Cu
Arsenato de plomo	4.2-9.1% AS; 11-26% Pb
Arsenato de calcio	0.8-26% AS
Sulfato de zinc	20-30% Zn
Cloruro de mercurio	6% Hg
<i>Fungicidas</i>	
Sulfato de cobre-sales de calcio	4-6% Cu
Sales de cobre	2-56% Cu
Metil y fenil de sales de mercurio	0.6-6% Hg
Acetato fenil mercurio	6% Hg
Mancozeb	2.6% Mn; 2% Zn
Zineb y Ziram	1-18% Zn

Fuente: Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro México

8.7.5 Origen industrial

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos.

A menudo estos vertidos no son gestionados, no se someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado. Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química.

En la tabla 11 muestran algunos de los procesos industriales por los que se introducen metales pesados en el ambiente.^{44, 47, 48}

8.7.6 Origen doméstico y urbano

Las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de los metales pesados de origen doméstico. Los vertidos domésticos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc.³⁸ La actividad urbana es también una fuente de contaminación fundamentalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, las emisiones de los vehículos a la atmosfera o a la producción de lodos en las depuradoras de aguas residuales. Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no solo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste de los neumáticos. Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades.^{37, 38}

8.8 Sedimentos

Los sedimentos constituyen la acumulación de materiales arrastrados (aloctonos), o bien producidos en la misma masa de agua (autóctonos), minerales (evaporitas, arcillas, fragmentos de rocas o materiales clásticos, minerales formados en la propia

agua) y orgánicos (organismos enteros que mueren en el sedimento, organismos muertos y fragmentos de los mismos, excrementos, materia orgánica floculada, material detrítico aloctonos). La composición de los sedimentos y la velocidad con que se acumulan, expresan la actividad del lago como receptor de una cuenca y como centro de actividad biológica.^{39, 42}

La composición de un sedimento aporta información sobre los diferentes ambientes de constitución y de sedimentación por los que ha pasado. La combinación de los datos de los análisis químicos y mineralógicos de un sedimento reflejan la historia del mismo y los parámetros físicos, químicos, biológicos, etc. de los diversos procesos que han dado lugar a su formación.^{34, 35}

8.8.1 Contaminación de sedimentos por metales pesados

Dentro de los estudios de contaminación por metales pesados en sistemas acuáticos, los sedimentos constituyen un material fundamental para conocer el grado de contaminación de una determinada zona. Actúan como sumideros de contaminantes y cuando las condiciones ambientales cambian se convierten en fuente importante de metales que pueden ser incorporados por la biota.^{37, 39, 40} El efecto puede resultar aún más significativo para los organismos bentónicos que viven en asociación con los sedimentos superficiales contaminados. En muchos casos, los metales se acumulan también en los niveles más altos de la cadena trófica, incluyendo a peces y el hombre.^{37, 39, 40}

Los sedimentos por si mismos constituyen un reservorio natural de metales pesados. Son excelentes adsorbentes de contaminantes, pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos.^{37,38, 39, 40}

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no de solubilizarse durante las modificaciones fisicoquímicas estacionales (estiaje, crecida, etc.).

La concentración de metales pesados en los sedimentos no solo depende de fuentes antropogénicas y litogénicas, sino también de las características

textuales, del contenido de la materia orgánica, de la composición mineralógica y del ambiente deposicional de los sedimentos. Por ello, muestras de sedimentos tomadas en puntos muy próximos, pueden presentar contenidos en metales muy diferentes, siendo la textura del sedimento la principal responsable de tales discrepancias. En limos y en las fracciones finas de arenas las concentraciones de metales generalmente disminuyen, al igual que en la fracción denominada como componentes de cuarzo.^{37, 38, 39, 40}

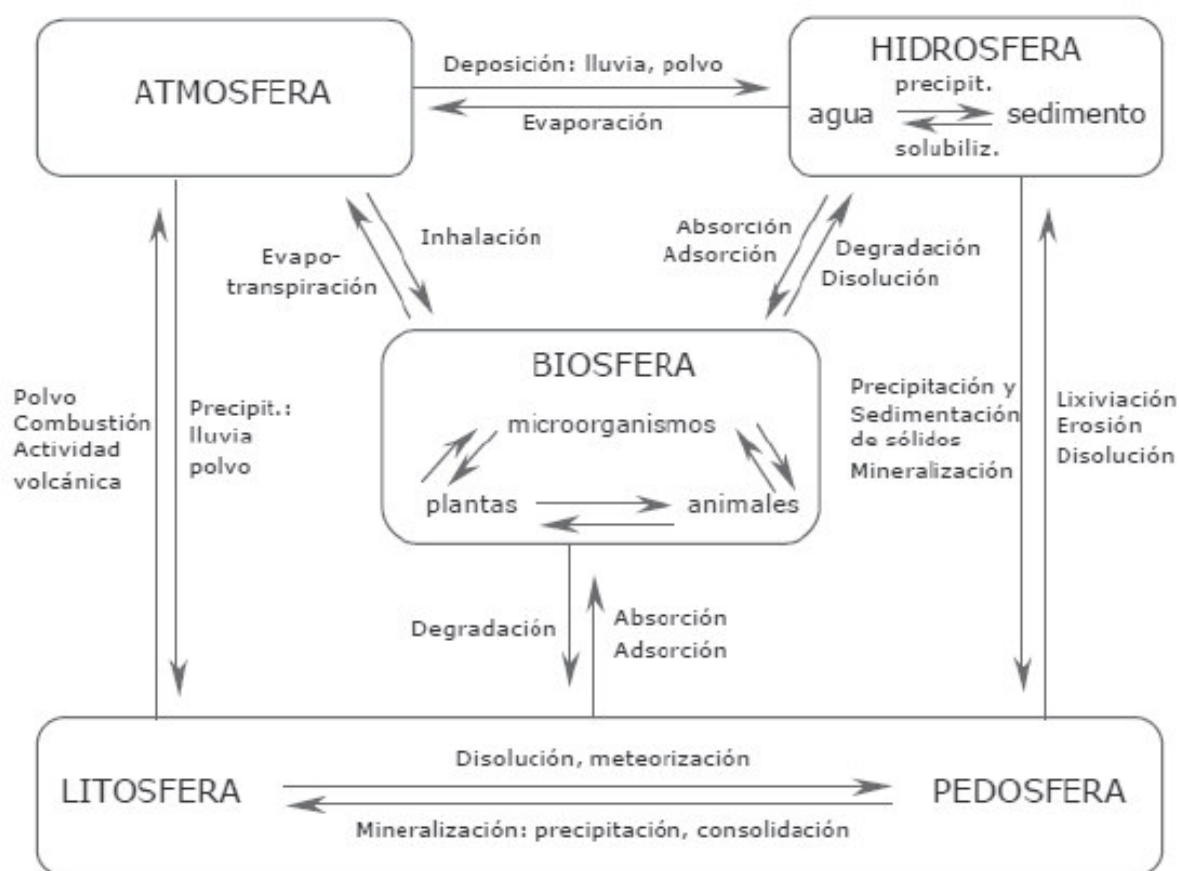


Figura 6. Ciclo biogeoquímica general de los metales pesados

Fuente: Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro México

9. Metales tóxicos

Un metal tóxico es aquel que pertenece al grupo de elementos que no son necesarios o benéficos, capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo, aún en concentraciones bajas.^{34, 35}

Los metales que se encuentran en alimentos, deben su presencia a diferentes causas, que van desde su obtención o cultivo, hasta su industrialización.

Algunos metales como el plomo o el mercurio, pueden considerarse tóxicos sistémicos, es decir que pueden afectar a más de un órgano, siendo generalmente ingeridos (sistema gastrointestinal) y distribuidos a diferentes órganos por la sangre.^{34, 35}

Los metales pueden jugar un papel importante en el metabolismo normal, por ejemplo: calcio, potasio, sodio, magnesio, hierro, zinc, selenio, manganeso, cobre, cobalto, sílice, o bien tóxicos: cadmio, plomo, mercurio, arsénico, berilio y bario.^{34, 35, 41, 42}

La toxicidad de un metal depende de la dosis en que se ingiera, así como la cantidad excretada. A veces la diferencia entre la concentración tóxica y la concentración requerida mínima, como sucede en el caso del selenio. En contraparte se puede citar al plomo, mercurio y cadmio, en que no se les ha encontrado ningún efecto benéfico pero si dañino a concentraciones bajas.^{34, 35, 41, 42}

9.1 Plomo

Este ha sido uno de los metales que se le ha considerado desde la antigüedad como “nocivo y pestilente” incluso se piensa que fue una de las causas de la caída del imperio romano.^{39, 43, 46}

9.1.1 Distribución y usos

Los minerales de plomo se encuentran en muchos lugares del mundo. El mineral más rico es la galena (sulfuro de plomo) y constituye la fuente principal de producción comercial de este metal. Otros minerales de plomo son: la cerusita (carbonato), la anglesita (sulfato), la corcoita (cromato), la wulfenita (molibdato), la piromorfita (fosfato), la mutlockita (cloruro) y la vanadinita (vanadato). En muchos casos, los minerales de plomo pueden contener otros metales tóxicos.^{39, 43, 46}

Los minerales de plomo se separan de la ganga y de otros elementos del mineral mediante el triturado en seco, la molturación en húmedo (para obtener una pasta), la clasificación gravimétrica y la flotación. Los minerales de plomo liberados se funden mediante un proceso en tres etapas: preparación de la carga (mezcla, condicionamiento, etc.), sinterizado y reducción en hornos altos. A continuación, el metal se refina mediante la separación del cobre, el estaño, el arsénico, el antimonio, el zinc, la plata y el bismuto.^{39, 43, 46}

El plomo metálico se utiliza en forma de planchas o tubos cuando se requiere una gran maleabilidad y resistencia a la corrosión, como en la industria química o en la construcción.

También se utiliza para el revestimiento de cables, como componente de soldadura y como empaste en la industria automovilística.^{39, 43, 46}

Es un material excelente como protector de radiaciones ionizantes. Se utiliza en los procesos de metalizado para proporcionar recubrimientos protectores, en la fabricación de acumuladores y como baño de termotratamiento en el revenido de hilos metálicos. El plomo se encuentra en una gran variedad de aleaciones y sus compuestos se preparan y utilizan en grandes cantidades en numerosas industrias.^{39, 43, 46}

Aproximadamente un 40 % del plomo se utiliza en forma metálica, un 25 % en aleaciones y un 35 % en compuestos químicos. Los óxidos de plomo se utilizan en las placas de las baterías eléctricas y los acumuladores (PbO y Pb_3O_4), como agentes de mezcla en la fabricación de caucho (PbO) y en la fabricación de pinturas (Pb_3O_4) y como componentes de barnices, esmaltes y vidrio.^{39, 43, 46}

Las sales de plomo constituyen la base de muchas pinturas y pigmentos: el carbonato y el sulfato de plomo se utilizan como pigmentos blancos y los cromatos de plomo sirven para obtener amarillo, naranja, rojo y verde de cromo. El arseniato de plomo es un insecticida; el sulfato de plomo se utiliza en mezclas de caucho; el acetato de plomo tiene usos importantes en la industria química; el naftenato de plomo es un agente secante muy utilizado y el plomo tetraetilo se utiliza como agente antidetonante para la gasolina en aquellos países en que la legislación aún lo permite.^{39, 43, 46}

Aleaciones de plomo. Al plomo se le pueden añadir otros metales como el antimonio, el arsénico, el estaño y el bismuto para mejorar sus propiedades mecánicas o químicas y, a su vez, el plomo puede añadirse a otras aleaciones, como el latón, el bronce o el acero con el fin de lograr determinadas características.

Compuestos de plomo inorgánicos. No tenemos espacio suficiente para describir todos los compuestos de plomo, tanto orgánicos como inorgánicos, que se utilizan en la industria. Sin embargo, entre los compuestos más comunes cabe citar: el monóxido (PbO), el dióxido (PbO_2), el tetróxido (Pb_3O_4), el sesquióxido (Pb_2O_3), el carbonato, el sulfato, los cromatos, el arseniato, el cloruro, el silicato

y la azida de plomo. La concentración máxima de compuestos de plomo orgánico (alquilos) en las gasolinas está sujeta a restricciones legales en muchos países y a limitaciones de los fabricantes con apoyo gubernamental en otros. En muchas jurisdicciones se ha prohibido su uso por completo.^{39, 43, 46}

9.2 Arsénico.

Existen tres grandes grupos de compuestos de arsénico (As):

1. compuestos de arsénico inorgánico
2. compuestos de arsénico orgánico
3. gas arsina y arsinas sustituidas.

9.2.1 Distribución y usos

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y principalmente en los minerales sulfurosos. La arsenopirita (FeAsS) es la forma más abundante.³⁷

9.2.2 Arsénico elemental

El arsénico elemental se utiliza en aleaciones con el fin de aumentar su dureza y resistencia al calor, como en las aleaciones con plomo para la fabricación de municiones y de baterías de polarización. También se utiliza para la fabricación de ciertos tipos de vidrio, como componente de dispositivos eléctricos y como agente de adulteración en los productos de germanio y silicio en estado sólido.³⁷

9.2.3 Compuestos inorgánicos trivalentes

El tricloruro de arsénico (AsCl_3) se utiliza en la industria cerámica y en la fabricación de arsenicales con contenido de cloro. El trióxido de arsénico (As_2O_3) o arsénico blanco se utiliza en la purificación de gases sintéticos y como materia prima para todos los compuestos de arsénico. También se utiliza como conservante de cuero y madera, como mordente en la industria textil, como reactivo en la flotación de minerales y para la decoloración y refinamiento en la fabricación del vidrio.^{37, 38} El arsenito cálcico [$\text{Ca}(\text{As}_2\text{H}_2\text{O}_4)$] y el acetoarsenito cúprico (considerado generalmente como $\text{Cu}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$) son insecticidas. El acetoarsenito cúprico se utiliza también en la fabricación de pinturas para barcos y submarinos. El arsenito sódico (NaAsO_2) se utiliza como

herbicida, como inhibidor de la corrosión y como agente de secado en la industria textil. El trisulfuro de arsénico es un componente del cristal de transmisión de infrarrojos y un agente para eliminar el pelo en el curtido de pieles. También se utiliza en la fabricación de material pirotécnico y de semiconductores.^{37, 38}

9.2.4 Compuestos inorgánicos pentavalentes

El ácido arsénico ($\text{H}_3\text{AsO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) se utiliza en la fabricación de arsenatos, de vidrio y en los procesos de tratamiento de la madera. El pentóxido de arsénico (As_2O_5) se utiliza como herbicida y conservante de la madera, así como en la fabricación de vidrio coloreado.

El arseniato cálcico ($\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$) se emplea como insecticida.^{37, 38}

9.2.5 Compuestos de arsénico orgánico

El ácido cacodílico ($(\text{CH}_3)_2\text{AsOOH}$) se utiliza como herbicida y defoliante. El ácido arsanílico ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{AsO}(\text{OH})_2$) se utiliza como cebo para saltamontes y como aditivo para piensos animales. En los organismos marinos como los camarones y los peces se encuentran compuestos de arsénico orgánico en concentraciones correspondientes a una concentración de arsénico de 1 a 100 mg/kg. Este arsénico está compuesto principalmente por arsenobetaina y arsenocolina, compuestos de arsénico orgánico de baja toxicidad.^{37, 38, 41}

Gas arsina y arsinas sustituidas. El gas arsina se utiliza en la síntesis orgánica y en el proceso de componentes electrónicos en estado sólido. El gas arsina también se puede generar inadvertidamente en procesos industriales en los que se forma hidrógeno naciente cuando existe arsénico presente.^{37, 38, 41}

Las arsinas sustituidas son compuestos arsenicales orgánicos trivalentes que, dependiendo del número de grupos alquilo o fenilo que tengan unidos al núcleo de arsénico, se conocen como arsinas mono, bi o trisustituidas. La dicloroetilarsina ($\text{C}_2\text{H}_5\text{AsCl}_2$) o etildicloroarsina es un líquido incoloro de olor irritante.^{37, 38, 41}

Este compuesto, al igual que el que se indica a continuación, se desarrolló como posible arma química. La dicloro(2-clorovinil-)arsina (ClCH:CHAsCl_2) o clorovinildicloroarsina (lewisita) es un líquido de color verde oliva con un olor

similar al germanio. Se desarrolló como posible arma química, aunque nunca llegó a utilizarse. Se desarrolló asimismo el agente dimercaprol o antilewisita británica (BAL) como un antídoto.^{37, 38, 41}

La dimetilarsina $(\text{CH}_3)_2\text{AsH}$ o cacodil hidruro y la trimetilarsina $(\text{CH}_3)_3\text{As}$ o trimetilarsénico son líquidos incoloros. Estos dos agentes se producen tras la transformación metabólica de los compuestos de arsénico en bacterias y hongos.^{37, 38, 41}

9.3 Cadmio

El cadmio es un elemento poco abundante en la naturaleza que se obtiene como subproducto de la minería y de la extracción de zinc y de plomo. Es uno de los contaminantes metálicos de los alimentos más peligrosos debido no solo a su elevada toxicidad y capacidad de acumulación en la cadena alimentaria sino también a su amplia distribución derivada de sus numerosas aplicaciones industriales. La producción comercial de cadmio y su utilización en distintas actividades como la galvanoplastia, la estabilización del PVC, la fabricación de pigmentos para esmaltes, la fabricación de pilas de Ni-Cd o la obtención de diferentes aleaciones, pueden contaminar aire, suelos y aguas. El cadmio está también presente en pequeñas cantidades en los fertilizantes fosfatados, desde donde puede cederse al suelo y de éste a los vegetales.^{37, 38, 39}

9.3.1 Distribución y usos

Las propiedades químicas y físicas del cadmio son muy similares a las del zinc, y con frecuencia coexiste con este metal en la naturaleza. En los minerales y las menas, la proporción de cadmio y zinc suele oscilar entre 1:100 a 1:1.000.

El cadmio es muy resistente a la corrosión y se utiliza para su electrodeposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro. Los tornillos, las tuercas de seguridad, los pestillos y diversas partes de los aviones y vehículos de motor están tratados con cadmio con el fin de protegerlos de la corrosión. Actualmente, sin embargo, sólo el 8 % de todo el cadmio refinado se utiliza para el galvanizado y los recubrimientos. Los compuestos de cadmio se utilizan también como pigmentos y estabilizadores de plásticos (30 % de su uso en los países desarrollados) y en ciertas aleaciones (3 %). Las baterías pequeñas, portátiles y recargables de cadmio que se utilizan, por ejemplo, en los teléfonos móviles representan un uso del cadmio cada

vez mayor (en 1994, en los países desarrollados, el 55 % de todo el cadmio se utilizó en la fabricación de baterías).^{37, 38, 39, 43}

Existen diversas sales de cadmio. La más importante es el estearato de cadmio, que se utiliza como estabilizador térmico en los plásticos de PVC (cloruro de polivinilo). El sulfuro de cadmio y el sulfoseleniuro de cadmio se utilizan como pigmentos amarillo y rojo en plásticos y tintes. El sulfuro de cadmio se utiliza también en células solares y fotográficas. El cloruro de cadmio se emplea como fungicida, componente de los baños galvanoplásticos, colorante en pirotecnia, aditivo en las soluciones de estañado y mordente en la tinción e impresión de textiles. También se utiliza para la producción de determinadas películas fotográficas, para la fabricación de espejos especiales y para el recubrimiento de tubos electrónicos de vacío. El óxido de cadmio se utiliza como agente para galvanoplastia, materia prima para los estabilizadores térmicos de PVC y componente de las aleaciones de plata, pigmentos fosforescentes y semiconductores, así como para el endurecimiento de cristales o el vitrificado de cerámica.

El cadmio puede representar un peligro para el medio ambiente y en muchos países se han adoptado medidas legislativas para reducir su uso y la consiguiente dispersión ambiental de cadmio.^{37, 38, 39, 43}

10. Fisiología de los metales tóxicos

10.1 Plomo

10.1.1 Toxicocinética

El plomo puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico si se absorbe bien por esta vía. Después de la ingestión de plomo, éste se absorbe activamente, dependiendo de la forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/o calcio, si hay gran ingesta de grasa ó inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 % mientras que en el adulto es de 10 %^{61, 62}.

El modelo biológico del plomo se puede ver en la Figura 7.

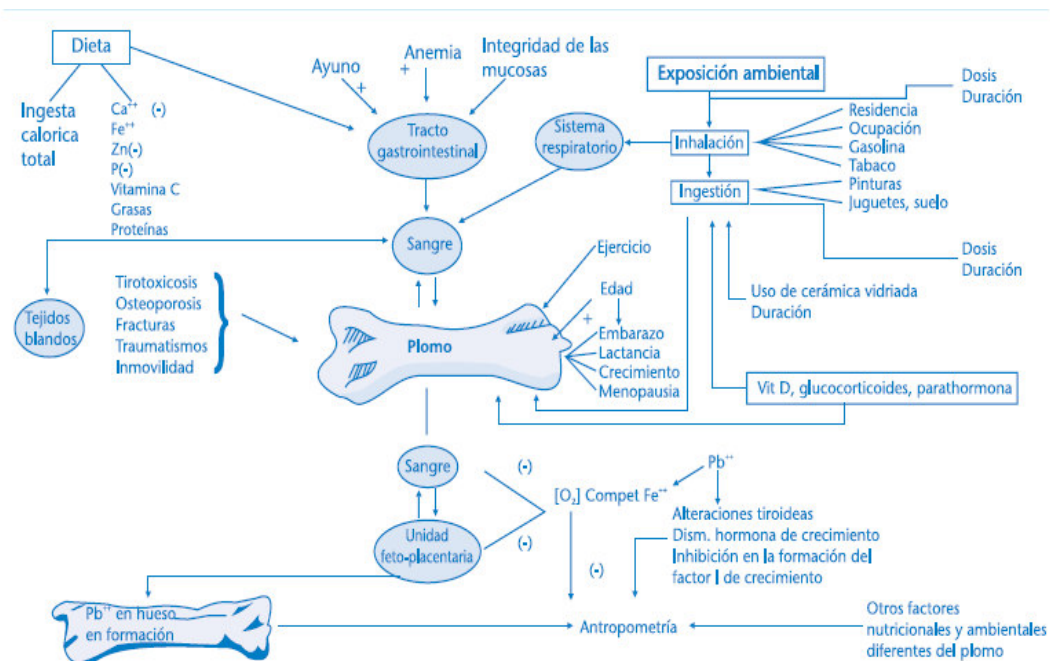


Figura 7. Modelo biológico del plomo

Fuente: Acumulación de plomo en huesos y sus efectos para la salud. Salud Pública México 1998

Luego de su absorción el plomo se distribuye en compartimentos, ver Figura 8, en primer lugar circula en sangre unido a los glóbulos rojos, el 95 % del plomo está unido al eritrocito, luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad, luego de 1 a 2 meses el plomo difunde a los huesos donde es inerte y no tóxico. El metal puede movilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada ⁶³. La Figura 9 muestra la declinación de la plumbemia de un paciente con exposición laboral durante 10 años. El plomo cruza la placenta y la barrera hematoencefálica. Finalmente se excretará por orina en un 90 %, y en menor cantidad en la bilis, piel, cabello, uñas, sudor y leche materna. Hay que recordar que en el hueso está depositado el 90 % del plomo y que una disminución de la plumbemia sin quelación indica esta distribución a tejido blando y hueso como se ve en la Figura 9. ^{62, 63}



Figura 8. Distribución del plomo, modelo de los tres compartimentos en el organismo humano.

Fuente: Acumulación de plomo en huesos y sus efectos para la salud. Salud Pública México 1998

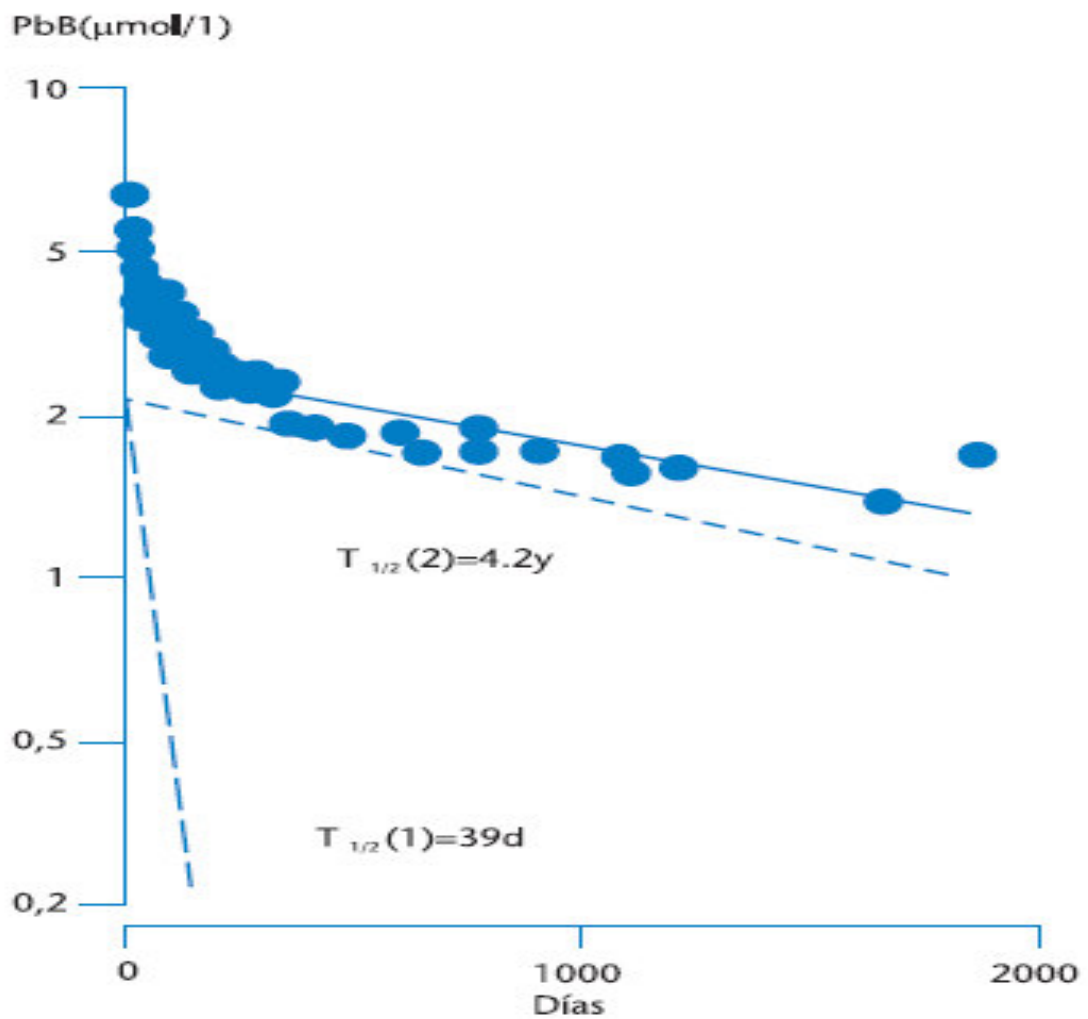


Figura 9. Declinación de los niveles de plomo.

10.1.2 MECANISMO DE ACCIÓN

El plomo tiene gran afinidad por los grupos sulfhidrilo, en especial por las enzimas dependientes de zinc. El mecanismo de acción es complejo; en primer lugar parece ser que el plomo interfiere con el metabolismo del calcio, sobre todo cuando el metal está en concentraciones bajas, el plomo altera el calcio de las siguientes formas⁶³:

- a) Reemplaza al calcio y se comporta como un segundo mensajero intracelular, alterando la distribución del calcio en los compartimentos dentro de la célula.
- b) Activa la proteinquinasa C, una enzima que depende del calcio y que interviene en múltiples procesos intracelulares.
- c) Se une a la calmodulina más ávidamente que el calcio, ésta es una proteína reguladora importante.
- d) Inhibe la bomba de Na-K-ATPasa, lo que aumenta el calcio intracelular. Finalmente esta alteración a nivel del calcio traería consecuencias en la neurotransmisión y en el tono vascular lo que explicaría en parte la hipertensión y la neurotoxicidad.⁶²

Por otro lado, el plomo es tóxico para las enzimas dependientes del zinc, los órganos más sensibles a la toxicidad son el sistema hematopoyético, el sistema nervioso central y el riñón. Interfiere con la síntesis del hem, ya que se une a los grupos sulfhidrilos de las metaloenzimas como son la δ aminolevulínico deshidratasa, coproporfinógeno oxidasa y la ferroquelatasa, que se muestra en la Figura 10; siendo el resultado final, el aumento de las protoporfirinas como la zinc-protoporfirina(ZPP) y la anemia.^{61, 62, 63}

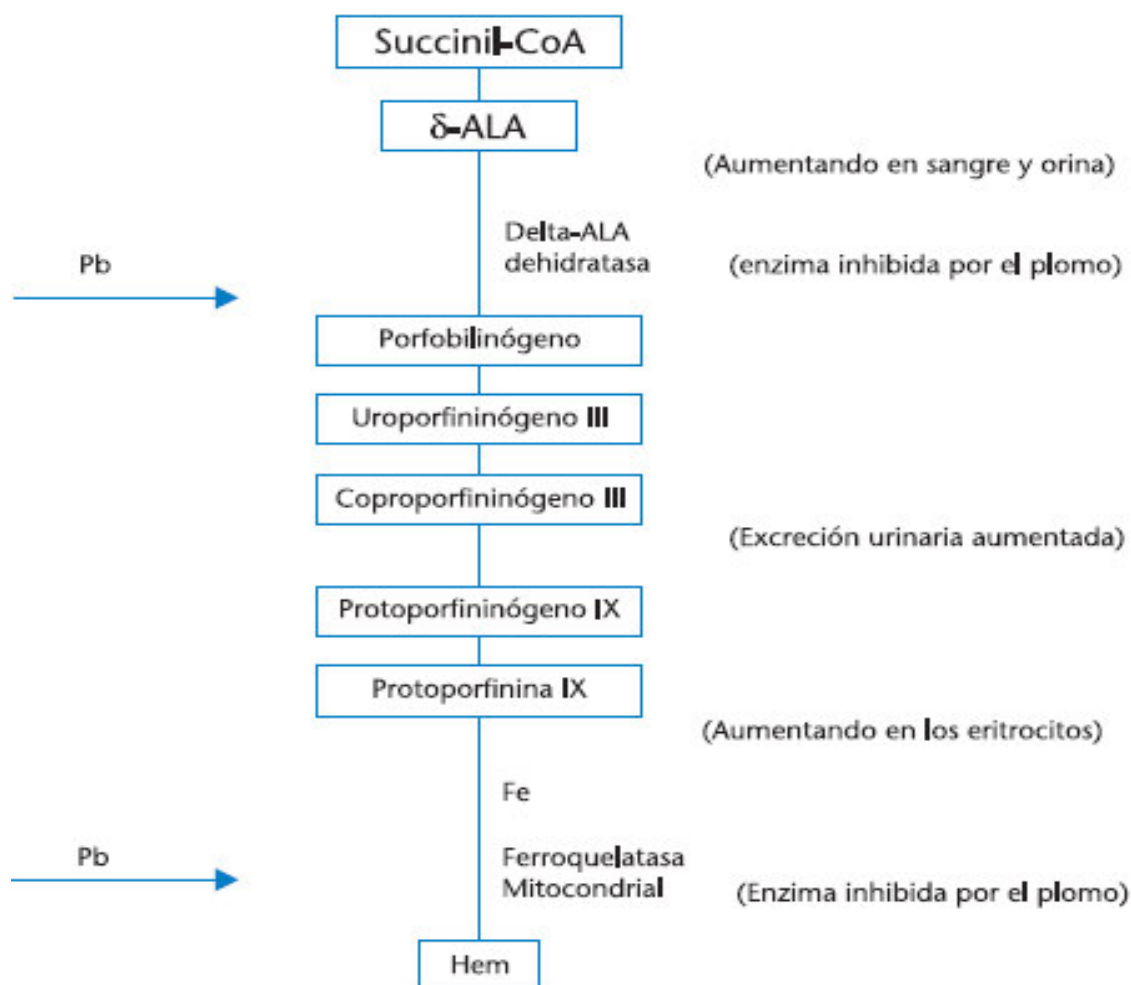


Figura 10. Efectos del plomo en la síntesis del hem.

Fuente: Acumulación de plomo en huesos y sus efectos para la salud. Salud Pública México 1998

A nivel renal interfiere con la conversión de la vitamina D a su forma activa, hay inclusiones intranucleares en los túbulos renales, produce una tubulopatía, que en estadios más avanzados llega a atrofia tubular y fibrosis sin compromiso glomerular, caracterizándose por una proteinuria selectiva. En niños se puede ver un síndrome semejante al de Fanconi, con aminoaciduria, glucosuria, e hipofosfatemia, sobre todo en aquellos con plumbemias altas.⁶³

Varias funciones del sistema nervioso central están comprometidas, principalmente porque el plomo altera en muchos pasos el metabolismo y función del calcio como explicamos previamente. El plomo se acumula en el espacio endoneural de los nervios periféricos causando edema, aumento de la presión en dicho espacio y finalmente daño axonal.⁶¹

El plomo depositado en el hueso es importante por tres razones:

- a) En el hueso se realiza la medición más significativa de exposición acumulada al plomo. Actualmente en EEUU y México se usa los rayos X fluorescentes que permiten la medición de plomo en el hueso (tibia), como un indicador de exposición y acumulación, en muchos casos ayuda más que una plumbemia y/o una ZPP, la concentración de plomo en la tibia correlaciona muy bien con la exposición acumulativa al plomo, es un método no invasivo e indoloro que por su alto costo sólo se usa con fines de investigación.^{61, 62}
- b) El hueso es reservorio del plomo (95 % del plomo corporal total está en el tejido óseo) y puede aumentar en sangre cuando existan procesos fisiológicos o patológicos que provoquen resorción ósea como embarazo, lactancia, hipertiroidismo, inmovilización, sepsis, etc.
- c) También es órgano blanco, ya que el plomo altera el desarrollo óseo.

10.2 Cadmio

10.2.1 Toxicocinética

La absorción, distribución y excreción del cadmio en el ser humano en condiciones “normales” de exposición ambiental, las mostramos sintetizadas en la Figura 11. El contenido corporal de cadmio se incrementa con la edad hasta los 50 años. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 mg, dependiendo de la situación geográfica y sobretudo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble.^{67, 68, 69}

En condiciones “normales” de distribución, el cadmio absorbido se excreta principalmente por orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones puedan eliminarse con sudor, pelo y aún secreción gastrointestinal, pero el Cd que sale con heces en su mayor parte es el que no se absorbió.^{67, 68, 69}

En exposición no laboral, la alimentación es la fuente más importante de ingesta de cadmio.

La absorción por el tracto gastrointestinal es de aproximadamente 50 %. La dieta deficiente en Ca, Fe o proteína incrementa la velocidad de su absorción.^{67, 68, 69}

En sangre encontramos aproximadamente 0,06 % del contenido corporal de Cd y más del 50 % está en los hematíes unido inestablemente a una pseudoproteína, la metalotioneína. La metalotioneína es el “medio de transporte” del cadmio en el

plasma sanguíneo. El aclaramiento sanguíneo del Cd es rápido, se acumula principalmente en el riñón y en adultos no expuestos llega a valores entre 7,4 y 8,8 mg, lo que representa entre 30 % y 50 % de su contenido corporal.^{71, 72,73,74}

La concentración en la corteza renal es 1,5 veces mayor que la del riñón total y se fija en las células del túbulo proximal. El hígado de adultos no expuestos tiene en promedio 2,7 mg de cadmio.^{71, 72, 73}

La acumulación de Cd en riñón e hígado depende de la intensidad, del tiempo de exposición y del estado óptimo de la función de excreción renal. En ambos casos se ha encontrado incremento con la edad. Después de sobreexposición alcanza concentraciones elevadas en el hígado; pero con el tiempo el metal se localiza en el riñón. Se ha descrito también que las concentraciones renales de zinc se incrementan al aumentar las de cadmio y que la capacidad de almacenamiento de la corteza es limitada a 300 µg /g.^{66, 68, 71}

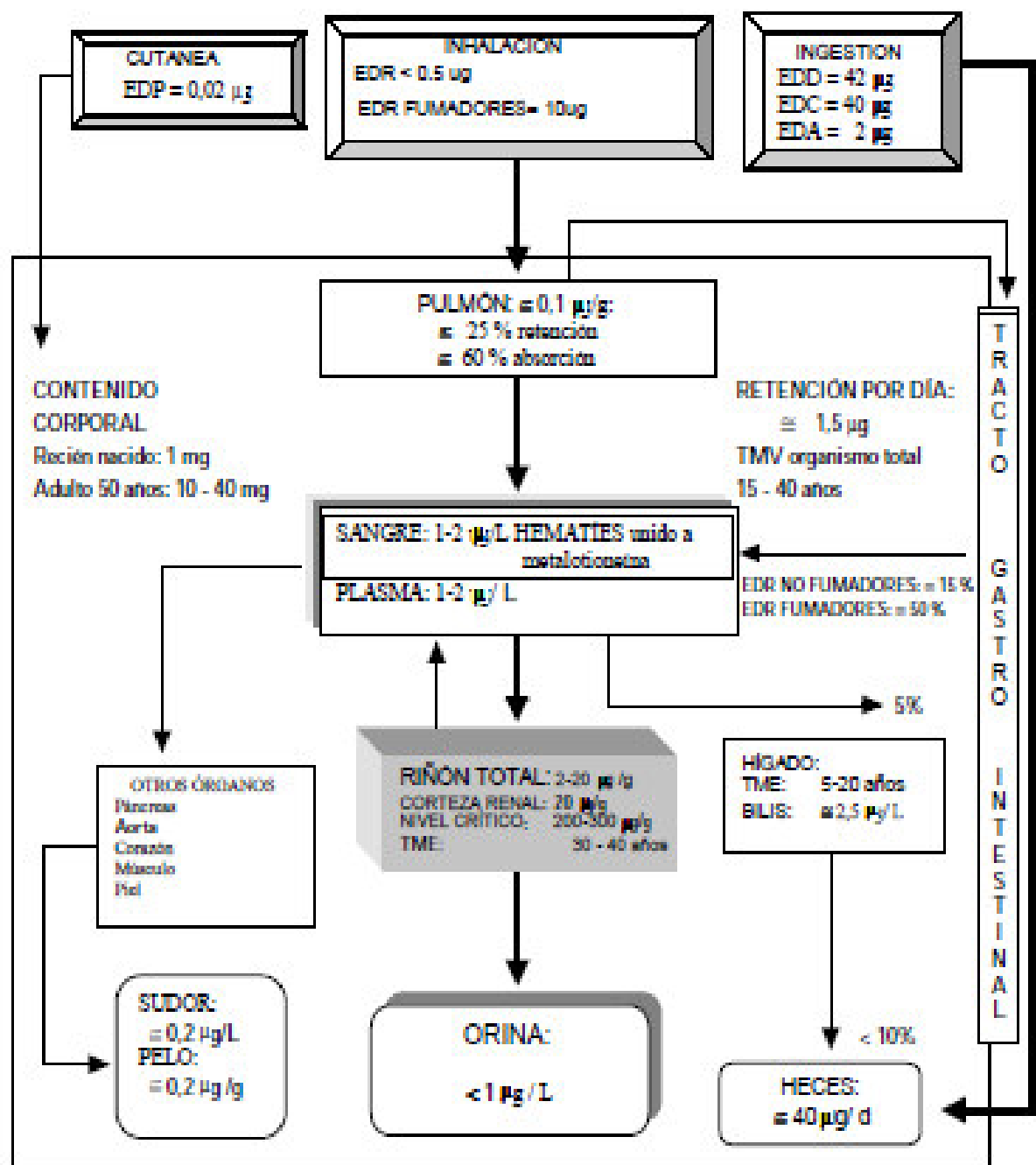
En las células, el cadmio se une a la metalotioneína, proteína cuyo peso molecular es de 6945 µ (7000 dalton) y que contiene 26 grupos SH libres por molécula, debido a la gran proporción de residuos de cisteína. La función principal de esta microproteína es la protección del sistema enzimático celular, aunque se le ha descrito otra función, cual es la de unirse específicamente al cadmio y a otros metales pesados.^{70, 74}

Su síntesis en hígado, riñón e intestinos es inducida por el cadmio y se conoce por estudios experimentales que el complejo cadmio–metalotioneína es más tóxico para los túbulos renales que el cadmio per se. Paradójicamente, cuando la metalotioneína se sintetiza en las células, las protege de la toxicidad del cadmio, pues inactiva el metal. Se ha demostrado también escasa capacidad del riñón para sintetizarla, lo que lo hace insuficiente para fijar el cadmio y da lugar a aparición de las manifestaciones tóxicas.^{74, 75,76}

Poblaciones adultas del medio urbano pueden retener hasta 1,77 µg Cd /día; así, en personas de 50 años hay cantidades acumuladas de hasta 32 mg; de ellos, la corteza renal contiene aproximadamente 50 µg Cd /g, en un rango que varía entre 15 y 85. Se sabe, por otro lado, que la concentración de cadmio en el hígado depende del daño de la función renal inducida por el metal, que disminuye la reabsorción del cadmiometalotioneína e incrementa su excreción urinaria.^{68, 69, 70}

Sólo entonces la concentración de cadmio en hígado excede la de nivel renal. El cadmio atraviesa la barrera placentaria fácilmente, induciendo allí la síntesis de metalotioneína, con la que forma el complejo cadmio-metalotioneína, que se acumula progresivamente en la placenta durante el embarazo, actuando como mecanismo protector frente al transporte de cadmio al feto. Al término del embarazo, la concentración de cadmio en la placenta es aproximadamente 10 veces más que en la sangre materna. Por el contrario, la concentración de cadmio en el cordón umbilical es alrededor de 2 a 3 veces más baja que en la sangre materna. Por ello, se infiere que el cadmio puede interferir la evolución del embarazo por acción directa sobre el metabolismo de la placenta, pero no por acción directa sobre el feto. En el recién nacido el cadmio sanguíneo es de 30 a 50 % menor que el cadmio en la sangre materna. La leche materna sólo secreta pequeñas cantidades.^{68, 69, 70}

En exposiciones laborales, la inhalación es la ruta principal de ingreso y la absorción a partir de esta vía depende del tipo de compuesto inhalado, del tamaño de las partículas y de su retención en el pulmón. El depósito en el pulmón de partículas menores de 5 mm de diámetro es del orden del 25 % y de ellas aproximadamente el 60 % pasa a la sangre. En grandes fumadores se ha encontrado valores adicionales de absorción por inhalación de hasta el 50 %. Las partículas de cadmio depositadas en la nasofaringe, tráquea y bronquios son transportadas por mecanismo mucociliar a la faringe, desde donde son parcialmente ingeridas. La absorción percutánea ocurre solamente por contacto con los compuestos orgánicos del cadmio.^{64, 65, 66}



EDD = Entrada diaria total.
 EDC = Entrada diaria con la comida.
 EDR = Entrada diaria vía respiratoria.
 EDT = EDD + EDR + EDP.
 TME = Tiempo medio de excreción

EDD = Entrada diaria con la dieta
 EDA = Entrada diaria con el agua
 EDP = Entrada diaria por piel
 ADD = EDC + EDA
 TMV = Tiempo medio de vida.

Adaptado de Kjellstrom T y Nordberg GF (9).

Figura 11. Toxicología del cadmio. Toxicocinética.

Fuente: Anales de la Facultad de Medicina, UNMSM - 2002

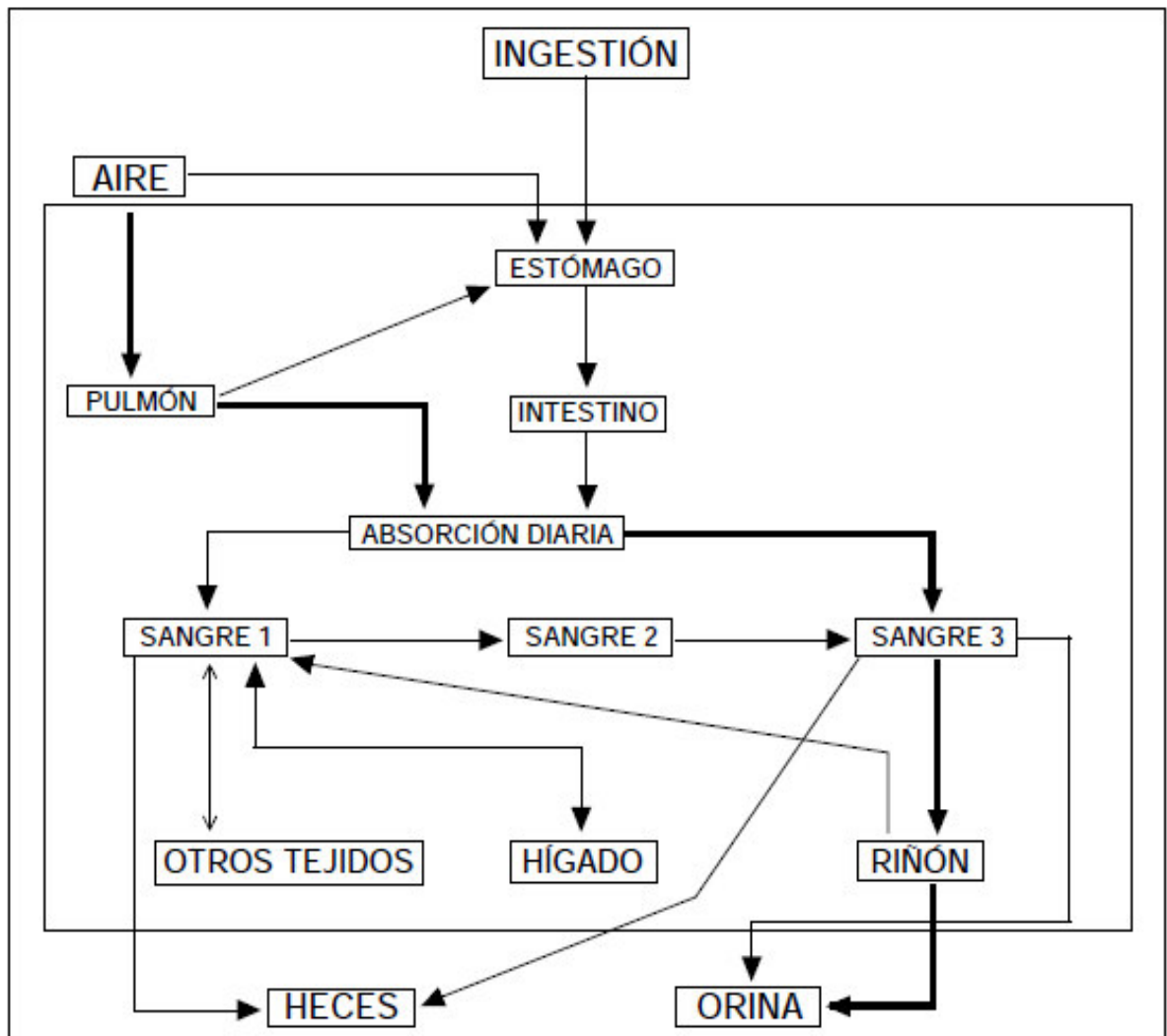
10.2.2 El modelo toxicocinético

La Figura 12 muestra el modelo toxicocinético del cadmio, elaborado a partir de investigaciones en animales y por observaciones clínicas en expuestos, que podemos resumirlo así:

- a) **Absorción:** Es relativamente lenta, con un promedio de 14 días en exposiciones prolongadas. Esto puede no ser importante cuando se calcula concentración de cadmio en órganos de trabajadores o individuos expuestos crónicamente, pero sí influencia los cálculos para períodos cortos de exposición.^{67, 68, 69}
- b) **Vías de ingreso y distribución:** Como ya hemos visto en exposición ocupacional, el cadmio procede de dos vías de ingreso: inhalación e ingestión. La fracción que pasa a sangre se distribuye en 3 compartimentos de recambio:
1. Compartimento 1 de “recambio rápido” y, por tanto, no genera acumulación.
 2. Compartimento 2 de “recambio medio”, constituido por los hematíes, en los que se acumula en pequeñas cantidades.
 3. Compartimento 3 de “recambio lento”; aquí, una fracción significativa de cadmio se une a la metalotioneína y va a depositarse en los órganos blanco.

Los compartimentos 1 y 3 son los de mayor intercambio con los demás órganos y se estima que desde el compartimento 1 la tasa de transferencia a otros tejidos es de 50% y al hígado de 16%. Entre los tres compartimentos hay equilibrio dinámico, sin embargo, existiría un aporte extra del riñón hacia el compartimento 1. En el riñón, el compartimento 3, aunque en forma lenta, es el de mayor intercambio y por tanto no se produce acumulación, pero sí filtración por el glomérulo. Una parte se reabsorbe en el túbulo, contribuyendo así a su acumulación. El excedente se excreta con la orina. La vida media del cadmio en el organismo total es de 30 a 40 años.^{67, 68, 69}

- c) **Excreción:** Las principales vías de excreción son orina y heces. Por orina, diariamente se elimina 0,007 % del contenido corporal y por heces 0,03 %. La



vida media de excreción urinaria es de hasta 40 años. Tan sólo una pequeña fracción del cadmio del compartimento sanguíneo y otra del hígado, a través de la vía biliar, se elimina por heces.^{67, 68, 69, 70}

Figura 12. Toxicología del cadmio. Esquema toxicocinético.

Fuente: Anales de la Facultad de Medicina, UNMSM - 2002

10.2.3 Toxicodinámica

El cadmio es un xenobiótico y, por tanto, un metal tóxico y no esencial para el organismo, que se acumula en los tejidos humanos. Los órganos blancos son riñón y pulmón. En exposición laboral o ambiental, sus principales efectos tóxicos son: neumonitis química, disfunción renal con proteinuria y microproteinuria y enfisema.^{64, 65, 66}

El riñón es más sensible al cadmio que pulmón e hígado y el epitelio del túbulo renal proximal es el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo. Concomitantemente, hay alteración de la filtración glomerular, por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas polianiónicas, lo que disminuye su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de peso molecular alto, que origina “proteinuria de peso molecular alto”. Teóricamente, pues no se ha demostrado in vivo, la acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por radicales de los grupos –SH, –OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales, Zn, Cu, Fe y Ca. Sus principales interacciones serían:^{67, 68, 69}

- 1) Unión fuerte del Cd a los grupos –SH de las proteínas intracelulares, que inhibiría a las enzimas que poseen estos grupos.
- 2) Desplazamiento del Zn de los enlaces -S- y la consiguiente alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos, que se refleja en su deficiencia relativa.

10.2.4 Las metalotioneínas

De las metalotioneínas, se sabe ahora que existen dos tipos, que se comportan de forma distinta respecto a acumulación del xenobiótico y a su excreción urinaria. La fracción de cadmio en plasma se encuentra unida en forma inestable a la metalotioneína 1 y es la que se transfiere rápidamente al riñón. En el tejido renal, en cambio, el cadmio acumulado se encuentra unido en forma relativamente estable a la metalotioneína 2 y su vida media se estima hasta en 68 años. En el hígado, la mayor cantidad de cadmio acumulado se encuentra unido también a la metalotioneína 2, con una vida media estimada hasta en 19 años. La vida media en sangre es aproximadamente de 2,5 meses. No tenemos datos sobre vida media en otros órganos o tejidos; sin embargo, puede afirmarse que 50 % del contenido total corporal de cadmio está en riñones, hígado y sangre, por lo que a estos 3 órganos se les denomina compartimiento de depósito.^{70, 73, 74}

10.2.5 La beta 2 microglobulina (B2M)

La B2M es una proteína de peso molecular bajo, 11 707 μ (11 800 Dalton), de tipo globular sin carbohidratos, compuesta por 100 aminoácidos con un puente –S – S– entre el aminoácido cistina de las posiciones 25 y 81, con secuencias de aminoácidos y estructura tridimensional muy similar a la de las cadenas cortas y largas de las inmunoglobinas; incluso se les ha establecido un desarrollo genético común.^{75, 76}

Se le aísla de la orina de intoxicados crónicos con cadmio, pero este aumento no es patognomónico, ya que también se le ha aislado de antígenos humanos histocompatibles y del suero de enfermos con procesos malignos inflamatorios. La B2M es producida constantemente y se elimina casi exclusivamente por vía renal (Figura 13). En sujetos normales se encuentra en baja concentración. Por su tamaño se cree que es filtrada libremente por el glomérulo. Considerando que su concentración en el suero normal es de 2 mg/L y que su velocidad de filtración glomerular es de 140 L /día, en los túbulos cada 24 horas hay 280 mg de B2M.^{75, 76}

Por otro lado, se ha medido su velocidad de síntesis, usando I125 - B2M. Se obtuvo una media de 95 mg /hora /kg y se ha calculado que cada día se liberan entre 150 y 200 mg de B2M. Debido a su pequeño tamaño, difunde libremente entre los espacios intra y extra vasculares, pero no pasa al espacio intracelular. Estas características moleculares hacen que su catabolismo se regule por filtración glomerular, pasando libremente a través de la membrana glomerular.^{75, 76}

Una vez filtrada es reabsorbida por células del túbulo proximal. La Figura 13 presenta una síntesis esquemática de su vía metabólica.

La concentración urinaria de B2M en el suero del adulto sano depende de edad y sexo, alcanza concentraciones hasta de 1 500 mg/g creatinina. La cantidad de B2M en los compartimentos intra y extra vasculares puede llegar hasta 8 mg. Se le ha calculado una vida media entre 30 y 60 minutos, lo que concuerda con estudios de su metabolismo, que muestran un tiempo de vida promedio de 40 minutos. Su catabolismo se da por filtración glomerular y reabsorción por micropinocitosis a nivel del túbulo proximal, donde se degrada. La velocidad de

desaparición de la B2M del suero depende de la velocidad de filtración glomerular, pero no de la función tubular; por tanto, el incremento en la excreción urinaria refleja una falla temprana de la reabsorción tubular. En jóvenes no expuestos, la excreción urinaria es menor a 150 mg /24 h; pero, en adultos llega a 250. En cuanto a la filtración glomerular, el rango está entre 180 y 275 mg /24 h, con un coeficiente de reabsorción aproximado de 99,9 %. Por tanto, podemos afirmar que su vida media es muy corta, pues la totalidad de B2M en el intersticio se renovaría cada 2 horas.^{75, 76}

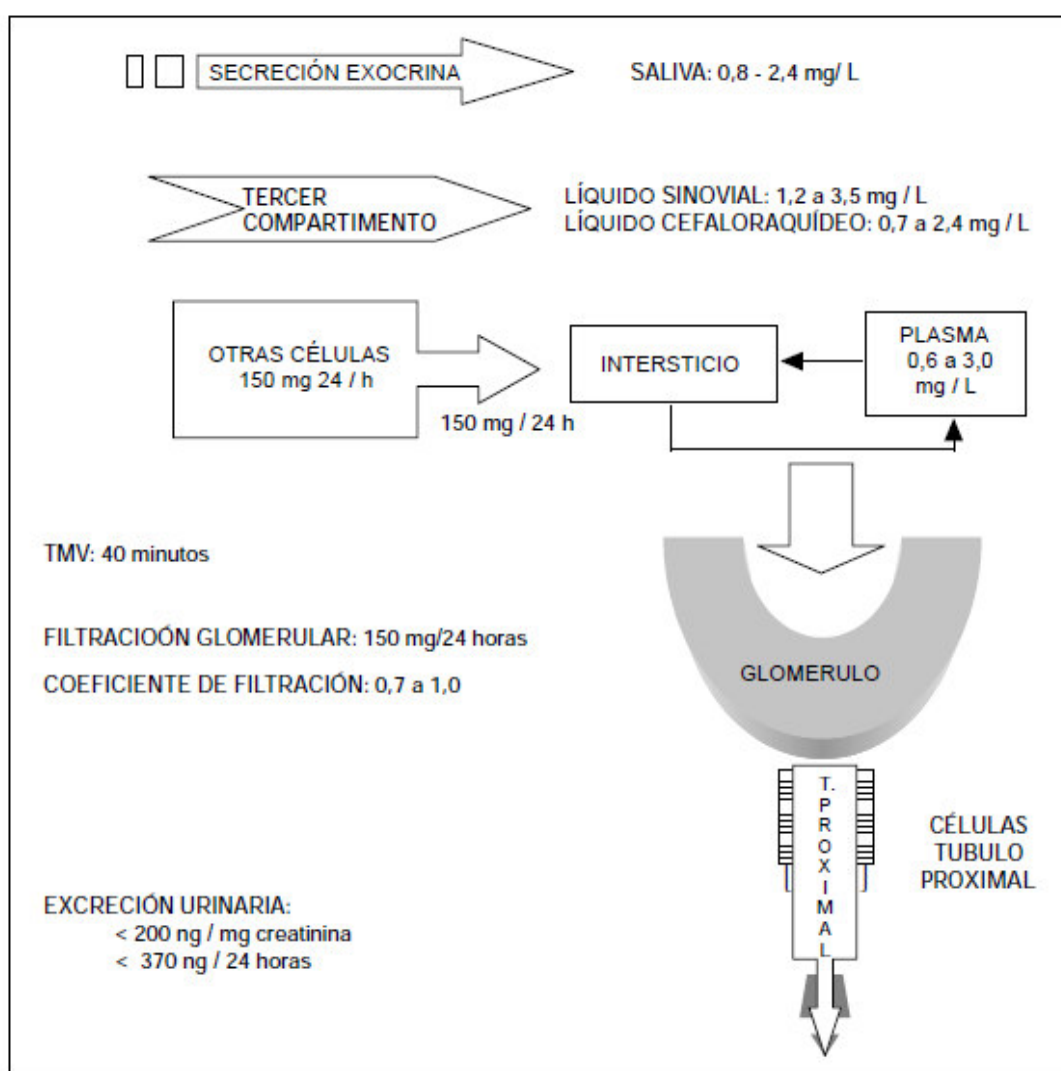


Figura 13. Toxicología del cadmio. Vía metabólica de la beta 2 microglobulina.

Fuente: Anales de la Facultad de Medicina, UNMSM - 2002

10.2.6 Evaluación de la acción toxicodinámica

Si se tiene certeza de exposición, medida por la carga corporal de cadmio, pero se quiere conocer el daño que el xenobiótico pudiera haber causado a riñón, hígado o pulmón, usaremos los siguientes indicadores: ^{71, 72, 77}

10.2.7 Proteínas totales en orina de 24 horas: En exposición a cadmio proteínas urinarias mayores a 1 g en 24 horas indican daño renal; pero ya desde 0,2 g /L se les considera críticas. ^{68, 69, 71}

10.2.8 Proteinuria de peso molecular bajo: B2M, lisozima b galactosidasa, p glutathion -S- transferasa (p GST) y ribonucleasa -metalotioneína. Aunque este grupo de proteínas de peso molecular bajo y enzimas, individualmente en orina no son específicas para evaluar exposición ocupacional o ambiental, son índices ampliamente usados para valorar el grado de disfunción renal tubular causado por la exposición de Cd. El inconveniente de la B2M es que se degrada en vejiga y, con el incremento de la edad, aumenta su cantidad en la orina; así tenemos que en mayores de 50 años se halla cantidades “normales” de hasta 1,8mg/g de creatinina. ^{73, 75}

10.2.9 Albuminuria: La proteinuria de peso molecular alto también ha sido referida como indicador no específico de exposición y, por tanto, tampoco es un indicador relevante. ⁷³

10.2.10 N-acetil-b-D-glucosaminidasa (NAG): Hemos separado esta enzima, producto de secreción renal, porque es muy sensible para medir daño renal inducido por cadmio. ⁷³

10.2.11 Calcio urinario: Si bien ya se había aceptado la calciuria como indicador de disfunción renal inducida por cadmio, es sólo recientemente que la escuela de Shanghái ha postulado la excreción de calcio urinario como indicador temprano y específico de exposición ambiental. El mecanismo por el que se produce la calciuria inducida por cadmio aún no ha sido bien determinado, pero se postula que el cadmio al ingresar a la célula podría causar cambios en la gradiente electroquímica por competición e inhibición en la bomba sodio-calcio, lo que afectaría la relación ciclo-adenosina monofosfato/ciclo-guanosinamonofosfato, que a su vez produciría disminución en la reabsorción del Ca^{2+} y por tanto su incremento en orina. Se sabe que la calciuria se correlaciona muy bien con incremento precoz de B2M y NAG, indicadores de disfunción tubular renal. ^{74, 75, 76,}

10.2.12 Perfil hepático: Útil para evaluar posible daño hepático en trabajadores de larga exposición, pues la alteración hepática aparece mucho después que el daño renal.

10.2.13 Evaluación respiratoria: Para evaluar el posible daño pulmonar, se usa radiografía de tórax y los principales indicadores de la función ventilatoria pulmonar:

- Capacidad vital forzada
- FEV1
- FEV1 / CVF
- Pico de flujo espiratorio, etc.

10.2.14 Intoxicación crónica por exposición a cadmio

En lo relativo a exposición/alteración-función renal en expuestos a cadmio, se ha descrito el desarrollo de la intoxicación en tres fases: ^{74, 75, 77}

- a) En la primera fase, el cadmio que ingresa al organismo se acumula en la corteza renal y se liga a la metalotioneína. Si la ligazón cadmiometalotioneína no se satura, la eliminación de cadmio urinario está en relación directa a la cantidad acumulada en la corteza renal.
- b) En exposiciones prolongadas, una segunda fase resulta en saturación de los sitios de unión cadmio-metalotioneína y, por tanto, el incremento del cadmio urinario en esta fase reflejará carga corporal.
- c) Una tercera fase se caracteriza por disfunción renal, en la que excreción de cadmio está directamente relacionada al daño renal.

10.3 Arsénico

10.3.1 Toxicocinética

Las principales vías de entrada del As al organismo son el tracto gastrointestinal (TGI) y el respiratorio. La absorción por vía dérmica es baja y alcanza solamente el 2 % ⁷⁸

10.3.2 Absorción: En los seres humanos y en la mayoría de las especies de los animales, la absorción de compuestos arsenicales a través del TGI es alta (95 %) cuando se administran en solución acuosa. La absorción de As por vía respiratoria depende del tamaño de la partícula inhalada, de su solubilidad y de la forma química del compuesto. La principal forma química presente en el aire es el As

(III), el cual es de origen antropogénico. Las partículas grandes se depositan en las vías superiores, son removidas por el movimiento ciliar y transportadas al TGI, en donde son absorbidas dependiendo de su solubilidad. Las partículas menores a 7 μ m se absorben en un 75 % a 85 %. ^{78, 79}

10.3.3 Distribución: Los arsenicales tienden acumularse principalmente en el hígado, riñón, pulmón y bazo. El As (III) se une preferentemente a los grupos sulfhidrilo de proteínas como la queratina, por lo que se deposita en las uñas y pelo. ^{78, 79}

10.3.4 Biotransformación: el metabolismo del As se realiza principalmente en el hígado y aunque su mecanismo no está bien establecido, se propone que en él intervienen dos procesos: ^{78, 79}

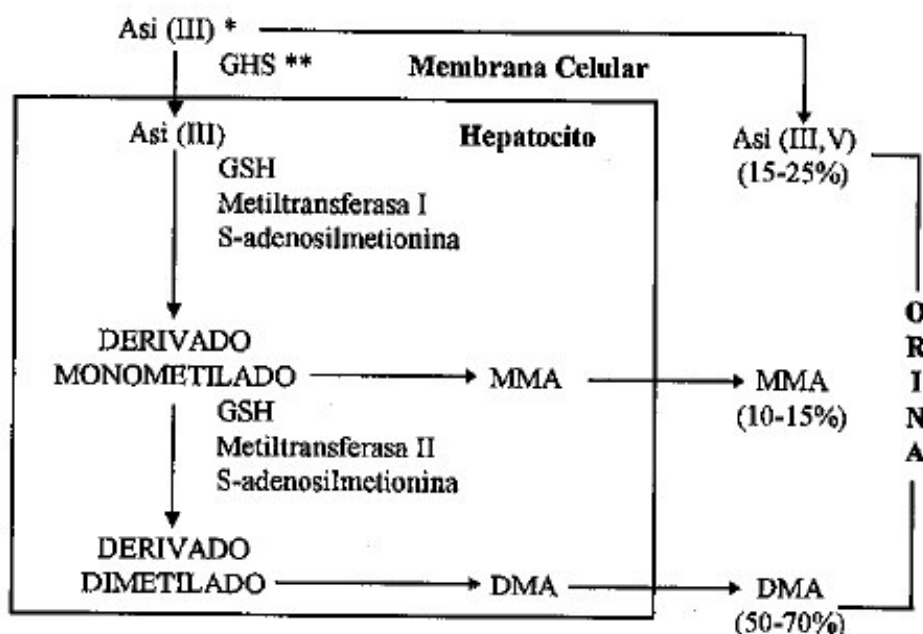
- a) Reacciones de reducción que convierten el As (V) en As (III) y
- b) Reacciones de metilación oxidativa que transforman en As (III) en especies metiladas.

La metilación del As que se ha propuesto requiere, primero, de una reducción del As (V) a As (III); enseguida, la adición del primer grupo de metilo para obtener ácido monometil-arsónico (MMA), se postula que esta es seguida por una segunda reducción de MMA (V) a MMA (III) previa a la segunda metilación, lo que produce el ácido dimetil-arsínico (DMA). Se ha propuesto a la S-adenosilmetionina como donador de los grupos metilo y glutatión reducido (GSH) como principal agente reductor y transportador del As. ^{78, 79, 80}

En microorganismos puede ocurrir una tercera metilación, que genera compuestos trimetilados, los cuales se consideran poco tóxicos. El metabolismo de los arsenicales orgánicos es pobre, solo un 13 % del MMA (V) se convierte en DMA; sin embargo, una vez que los arsenicales han sido metilados no son desquilados.

Varios factores pueden influir en la capacidad de metilación del As, entre ellos, dosis y tiempo de exposición, una dieta alta en metionina y proteínas y el probable polimorfismo genético de las enzimas metilantes. Se ha encontrado un incremento significativo en la cantidad de MMA y una disminución en el contenido de DMA que son excretados en la orina de individuos que han estado expuestos crónicamente a altas concentraciones de As en el agua bebida. ^{78, 79, 80}

Biotransformación del Arsénico Inorgánico



*arsénico inorgánico

**glutación reducido

Figura 14. Biotransformación del arsénico inorgánico

Fuente: Offergelt y col. 1992

10.3.5 Excreción: El As se elimina principalmente por el riñón en forma de DMA (50 % - 70 %). Una parte (20 %) se excreta sin metilar, en la orina. El As tiene una vida media corta, los valores descritos en orina de hámster son de 28.6 hrs para arsénico inorgánico, 7.4 hrs para MMA y 5.6 hrs para DMA. Las proporciones relativas de As (III), As (V), MMA y DMA en la orina pueden variar, dependiendo de la forma química, el tiempo de exposición, la dosis y la especie animal expuesta.^{78, 79, 80}

En comparación con el hombre, en la mayoría de las especies de MMA es muy baja (<4 %) mientras que en la rata, la retención y distribución de As difieren de las observadas en otras especies, pues la mayoría del DMA formado se une a los eritrocitos.^{78, 79, 80}

10.3.6 Toxicodinamia

La toxicidad del As es compleja, pues depende de las vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto. El As inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en humanos.⁸¹ El gas arsina es considerado como la forma más toxica del As, lo que se debe a su actividad como potente agente hemolítico, sin embargo, este gas difícilmente alcanza niveles tóxicos en el ambiente.

En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de As (III) son más toxicas que las de As (V) y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico están relacionadas con su toxicidad.^{79, 80, 81}

Existen pocos estudios sobre la toxicidad de los compuestos orgánicos del As y los mecanismos enzimáticos del proceso de metilación, las consecuencias de la formación de arsénico orgánico y su disposición en los tejidos son poco conocidos.^{79, 80, 81}

Tabla 13. Comparación de la toxicidad aguda de los compuestos arsenicales

Compuesto	DL ₅₀ (mg/kg)	Animal/vía
Arsenito de sodio	4.5	rata/intraperitoneal
Arseniato de sodio	14-18	rata/intraperitoneal
MMA	1,800	ratón/oral
DMA	1,200	ratón/oral
Arsenobetaina	10,000	ratón/oral

Fuente: Offergelt y col. 1992

10.3.7 Mecanismo de toxicidad

El mecanismo más importante que se ha postulado para explicar la toxicidad de los arsenicales trivalentes es a través de su afinidad por grupos sulfhidrilos de las proteínas. Las enzimas son particularmente afectadas si el grupo –SH está ubicado en un sitio crítico para su actividad.⁸¹

El As (V) puede subsistir al grupo fosfato de las reacciones que son catalizadas enzimáticamente, afectando procesos como la producción del ATP y de la síntesis

de DNA; sin embargo, su contribución tóxica es difícil de evaluar pues el As (V) se reduce a As (III) en el organismo.^{78, 81}

10.3.8 Indicadores de exposición y toxicidad

Los niveles de concentración de As en orina, sangre, cabello y uñas se consideran como marcadores de exposición. Hasta el momento la cuantificación del As en orina es el mejor de los indicadores, aunque es necesario distinguir a las especies arsenicales provenientes de la dieta, de las formas de arsénico inorgánico y de los metabolitos MMA y DMA. Los valores típicos de As urinario en individuos no expuestos son menores de 10 µg /L y el límite de intervención ambiental que se ha propuesto es de 100 µg /L. la cuantificación de As en el cabello y uñas es un buen indicador de la exposición crónica, mientras que los niveles de As en sangre no lo son, debido a su corta vida media.^{79, 80}

Las lesiones en la piel son los signos clínicos más evidentes de la exposición crónica al As y hasta ahora se han utilizado como indicadores clásicos de diagnóstico de exposición al metaloide.^{79, 80}

Como indicadores preclínicos de exposición al As se pueden utilizar sus efectos sobre varias enzimas de la ruta metabólica del grupo hemo, incluyendo la inhibición de la coproporfirinógeno oxidasa y la hemo sintetasa, así como la activación de la hemo oxigenasa. Las alteraciones en la síntesis y degradación del grupo hemo causan un incremento en la excreción urinaria de sus metabolitos (porfirinas), por lo que se ha sugerido que las alteraciones en el patrón de excreción de las mismas, así como de metabolitos del As se utilicen como indicadores preclínicos de intoxicación.^{79, 80}

11. Marco legal

11.1 Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos”

Esta ley nos menciona claramente lo que significa el agua para la población peruana, el patrimonio y el valor que el Estado tiene que darle a este recurso indispensable para la vida; esto a través de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Artículo 1°.- El agua

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

Artículo 2°.- Dominio y uso público sobre el agua

El agua constituye patrimonio de la Nación. El dominio sobre ella es inalienable e imprescriptible. Es un bien de uso público y su administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación. No hay propiedad privada sobre el agua.

Artículo 5°.- El agua comprendida en la Ley

El agua cuya regulación es materia de la presente Ley comprende lo siguiente:

1. La de los ríos y sus afluentes, desde su origen natural;
2. la que discurre por cauces artificiales;
3. la acumulada en forma natural o artificial;
4. la que se encuentra en las ensenadas y esteros;
5. la que se encuentra en los humedales y manglares;
6. la que se encuentra en los manantiales;
7. la de los nevados y glaciares;
8. la residual;
9. la subterránea;
10. la de origen minero medicinal;
11. la geotermal;
12. la atmosférica; y
13. la proveniente de la desalación.

Artículo 10°.- Finalidad del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos

El Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y tiene por finalidad el aprovechamiento sostenible, la conservación y el incremento de los recursos hídricos, así como el cumplimiento de la política y estrategia nacional de recursos hídricos y el plan nacional de recursos hídricos en todos los niveles de gobierno y con la participación de los distintos usuarios del recurso.⁸

El “Capítulo IV” de la “Ley de Recursos Hídricos – Ley N°29338” también menciona lo siguiente:

a) Funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales

Artículo 25°.- Ejercicio de las funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales

Los gobiernos regionales y gobiernos locales, a través de sus instancias correspondientes, intervienen en la elaboración de los planes de gestión de recursos hídricos de las cuencas.

Participan en los Consejos de Cuenca y desarrollan acciones de control y vigilancia, en coordinación con la Autoridad Nacional, para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos.

La infraestructura hidráulica mayor pública que transfiera el gobierno nacional a los gobiernos regionales es operada bajo los lineamientos y principios de la Ley, y las directivas que emita la Autoridad Nacional.

Artículo 35°.- Clases de usos de agua y orden de prioridad

La Ley reconoce las siguientes clases de uso de agua:

1. Uso primario.
2. Uso poblacional.
3. Uso productivo.

La prioridad para el otorgamiento y el ejercicio de los usos anteriormente señalados sigue el orden en que han sido enunciados.

Artículo 36°.- Uso primario del agua

El uso primario consiste en la utilización directa y efectiva de la misma, en las fuentes naturales y cauces públicos de agua, con el fin de satisfacer necesidades humanas primarias. Comprende el uso de agua para la preparación de alimentos, el consumo directo y el aseo personal; así como su uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales.

Artículo 37°.- Características del uso primario

El uso primario del agua no requiere autorización administrativa y se ejerce por la sola disposición de la Ley.

Es inocuo al ambiente y a terceros, no tiene fin lucrativo y se ejerce en forma gratuita por las personas, bajo su propia responsabilidad, restringido solo a medios manuales y condicionados a que:⁸²

1. No altere las fuentes de agua en su cantidad y calidad, y
2. no afecte los bienes asociados al agua

11.2 D.S. 023-2009 – MINAM “Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”

Este decreto define al Estándar de Calidad Ambiental como los valores que indican el nivel de concentración de parámetros químicos, físicos y biológicos presentes en el aire, agua y suelo; estos valores no representan riesgo significativo para la salud de las personas y el medio ambiente. También propone que en el proceso de evaluación de estos parámetros se aplica el principio de gradualidad, osea que se hará ajustes de estos valores durante el curso de la evaluación.⁸³

Además establece al Ministerio del Medio Ambiente como una de sus funciones específicas la de aprobar los lineamientos, metodologías, procesos y planes para la

aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el Agua.⁸³

11.3 Estándares primarios y secundarios según EPA

- a) **Estándares primarios:** existe una serie de características como pH y turbidez, que el agua debe tener para cumplir con la norma. También otros componentes como: flúor, arsénico, plomo, nitratos, plaguicidas, orgánicos sintéticos no deben estar en una concentración mayor a la permitida por la norma.

Estos son llamados estándares primarios, son obligatorios y el organismo que proporciona el servicio deberá cumplir con ellos o tomar las acciones correctivas necesarias o de lo contrario se hace acreedor a una negativa de explotación del suministro de agua (CNA, Comisión Nacional del Agua es quien toma esta acción), y a una multa si hubiera lugar.

La razón de limitar su concentración máxima de estos elementos o compuestos se debe a que se tienen evidencias bien fundamentadas de que causan daños o tienen efectos tóxicos cuando están por arriba de los valores máximos establecidos.⁸⁴

- b) **Estándares secundarios:** estos son valores establecidos por la normatividad pero son valores guía o valores recomendados y que no son obligatorios porque son indeseables por sus efectos pero no causan daños en la salud del consumidor. Un ejemplo de un estándar secundario pudiera ser la dureza: la dureza excesiva es indeseable, pero como no tiene efectos negativos en la salud, no está obligado el organismo encargado del suministro de agua a implementar acciones para corrección y disminución de este parámetro.⁸⁴

12. Efectos tóxicos y tratamiento del plomo

12.1 Intoxicación aguda por plomo

Es poco frecuente y es a consecuencia de la ingesta de compuestos de plomo solubles en ácido o por la inhalación de vapores del mineral.

Se suele presentar náuseas, dolor abdominal o en el vientre, vómito (quizás de aspecto lácteo por el cloruro de plomo). El excremento puede ser de color negro

por el sulfuro de plomo. En el sistema nervioso central se presentan parestesias, dolor y debilidad muscular.⁸⁵

12.2 Intoxicación crónica por plomo

Conocido como plumbismo o saturnismo, se puede dividir en seis categorías:

a) Efectos en tubo digestivo

Afecta principalmente al musculo liso del intestino, el síndrome abdominal suele comenzar con síntomas imprecisos como anorexia, molestias musculares y cefalea, a veces hay diarrea. En los comienzos del síndrome suele haber un regusto metálico, al avanzar la intoxicación se puede intensificar la anorexia y el estreñimiento, pero el signo más saltante es el espasmo intestinal que ocasiona dolor abdominal intenso. Los ataques son paroxísticos e intensísimos, los músculos del abdomen se vuelven rígidos y dolorosos, lo cual se manifiesta particularmente en la región del ombligo.

b) Efectos neuromusculares

La llamada “parálisis saturnina” que podría ser característico en los pintores de casas o en otros oficios. La debilidad muscular y la fatiga suelen aparecer mucho antes que la parálisis real. Los grupos musculares afectados suelen ser los más activos, tales como los extensores del antebrazo, carpo y dedos de las manos y músculos extraoculares.⁸⁵

c) Efectos en el sistema nervioso central

La encefalopatía por plomo es la manifestación más grave de esta intoxicación y mucho más frecuente en niños que en adultos. Los signos incipientes pueden ser torpeza, vértigo, ataxia, caídas, cefalea, insomnio, inquietud e irritabilidad. Al evolucionar la encefalopatía, el paciente muestra en primer lugar, excitación y confusión; después surgen delirio, con convulsiones tonicoclónicas repetitivas o letargo y coma. En ocasiones, la exposición al plomo da lugar a un deterioro mental definido y progresivo en niños, como también una perdida implacable y constante de sus capacidades motoras y del habla. En niños con mayores concentraciones en sangre de plomo puede ser causa de una conducta hipercinetica y una disminución del coeficiente intelectual.

d) Efectos hematológicos

Una consecuencia hematológica más común de la intoxicación crónica por plomo es la anemia microcítica hipocrómica, se observa con mayor frecuencia en niños y guarda semejanza con la anemia por deficiencia de hierro. Al parecer

esta anemia es consecuencia de dos factores: acortamiento de vida de los eritrocitos e inhibición de la síntesis de hemo.

e) Efectos renales

Se presenta en dos formas: un trastorno tubular reversible (que suele observarse después de la exposición aguda de niños a plomo) y una nefropatía intersticial irreversible (que se presenta con más frecuencia en la exposición industrial prolongada a plomo). Desde el punto de vista clínico, se advierte un síndrome similar al de Fanconi, que incluye proteinuria, hematuria y cilindros en la orina.

f) Otros efectos

Otros signos y síntomas del plumbismo son tono cenizo de la tez y palidez en los labios, aspecto de envejecimiento prematuro, un borde gingival que es negra, grisácea o azul oscuro por consecuencia del depósito de sulfuro de plomo en el periodonto. También en varones expuestos al plomo se ha descrito un menor número de espermatozoides (hipospermia).⁸⁵

12.3 Tratamiento

Las convulsiones suelen tratarse con diazepam o fenilhidantoína; el edema cerebral se combate con manitol y dexametasona o hiperventilación controlada. Se tiene que medir la concentración de plomo en sangre antes de iniciar la administración de quelantes.

El tratamiento con quelantes está indicado en sujetos sintomáticos o en aquellos cuyas concentraciones de plomo en sangre exceden los de 50 a 60 µg/100 mL. Por lo común, el calcioedetato sódico y el dimercaprol se utilizan en combinación contra la encefalopatía saturnina, además esta combinación es más eficaz que uno u otro producto solo.⁸⁶

a) Calcioedetato sódico

Se inicia la administración con una dosis de 30 a 50 mg /kg /día en dos fracciones, seguida de aplicación intramuscular profunda o goteo intravenoso lento durante cinco días consecutivos. Cada ciclo de tratamiento con el edetato no debe rebasar una dosis total de 500mg/Kg. Es importante medir el gasto urinario, porque al parecer el complejo de quelante-plomo es nefrotóxico. Este tratamiento alivia los síntomas a muy corto plazo. Los cólicos pueden desaparecer en términos de 2 horas; la parestesia y el temblor cesan después de 4

a 5 días; la coproporfirinuria, el moteado eritrocítico y las líneas saturninas en encías tienden a disminuir en cuestión de cuatro a nueve días.⁸⁶

b) Dimercaprol

Se aplica por vía intramuscular en una dosis de 4 mg/kg cada cuatro horas durante 48 horas, para seguir con la administración cada 6 horas por otras 48 horas, y por último cada 6 a 12 horas durante 7 días más.

c) D-Penicilamina

Es eficaz por la vía oral y puede incluirse en el régimen en dosis de 250mg cuatro veces al día durante 5 días. En la administración crónica, la dosis no debe exceder de 40 mg /kg /día.

d) Succímero

Es el primer quelante de plomo que es activo por vía oral; puede administrarse con inocuidad a niños y muestra un perfil de eficacia superior al de la D-Penicilamina. Por lo común se da cada 8 horas (10 mg /kg) durante 5 días, y luego cada 12 horas por dos semanas más.⁸⁶

13. Efectos tóxicos y tratamiento del arsénico

13.1 Intoxicación aguda por arsénico

a. Aparato cardiovascular

Una dosis aguda y subaguda de arsénico inorgánico inducen vasodilatación leve, lo cual puede ocasionar edema oculto. Puede haber efectos cardiovasculares graves como, hipotensión, insuficiencia cardíaca congestiva y arritmias cardíacas.

La exposición a largo plazo da por resultado enfermedad vascular periférica provocando gangrena en las extremidades, sobre todo en los pies (enfermedad de pies negros).⁸⁷

b. Tubo digestivo

Varían desde cólicos intestinales hasta y diarreas leves hasta gastroenteritis hemorrágica leve. Puede generar un daño hístico con una acción catártica por intercambio de agua de la mayor cantidad de líquido en el interior del intestino que desencadena hiperperistaltismo y la clásica diarrea acuosa.

c. Riñones

Los glomérulos son los primeros en ser atacados y surge proteinuria. Una exposición constante ocasiona oliguria, hematuria y presencia de cilindros en la orina.

d. Piel

Es un importante órgano blanco del arsénico, el primer efecto por ingestión crónica es la hiperpigmentación sobre el tronco o las extremidades en un tipo “lluvia” finamente moteado. La ingestión a largo plazo de dosis bajas arsenicales inorgánicas causa vasodilatación cutánea y tez con aspecto de “leche y rosas”.⁸⁷

e. Sistema nervioso

Lo más común es la neuropatía periférica con disestesias en “calcetín y guante”. Luego surge debilidad muscular en las extremidades, disminuyen los reflejos tendinosos profundos y surge atrofia muscular. Las lesiones cerebrales se encuentran en la sustancia blanca y gris, encontrándose focos de necrosis hemorrágica.

f. Sangre

Por arsenicales inorgánicos se afecta la médula ósea y la composición celular de la sangre. Se suele advertir anemia con leucopenia leve o moderada. Algunos de los efectos hematológicos crónicos pueden ser consecuencias de una menor absorción de ácido fólico.

g. Hígado

Produce infiltración adiposa, necrosis central y cirrosis. La lesión suele localizarse en el parénquima hepático.

En decenios recientes ha disminuido la incidencia de intoxicaciones accidentales, homicidas o suicidas con arsénico. El mineral, en la forma de As_2O_3 era una causa común de intoxicación porque se le podía conseguir con facilidad, es prácticamente insípido y tiene el aspecto del azúcar.

Las molestias gastrointestinales se pueden experimentar de 1 a 12 horas. Ardor labial, constricción de la faringe, dificultad para la deglución seguido de un dolor gástrico intenso, vómito y diarrea intensa pueden ser los primeros síntomas. El individuo suele quejarse de calambres intensos en músculo estriado y sed profunda.⁸⁷

13.2 Intoxicación crónica por arsénico

Los síntomas tempranos son más comunes de la intoxicación crónica son debilidad muscular y mialgias, hiperpigmentación de la piel (cuello, párpados, pezones y axilas), hiperqueratosis y edema. El ataque al tubo digestivo es menos intenso con la exposición a largo plazo.

Otros signos y síntomas que deben despertar la sospecha de intoxicación por arsénico son el olor a ajo del aliento y sudor, hipersialorrea y epifora, prurito generalizado, dolor faríngeo, coriza, insensibilidad, ardor u hormigueo en las extremidades, dermatitis, vitiligo y alopecia. Las líneas de Mee aparecen de manera característica en las uñas de las manos. Puede haber hepatomegalia y la obstrucción de los conductos biliares culminando en ictericia o cirrosis. Al evolucionar la intoxicación surge la encefalopatía. La neuritis periférica ocasiona parálisis motora y sensoriales de las extremidades (por lo general las inferiores, a diferencia de la parálisis saturnina). La médula ósea sufre daño grave por el arsénico pudiendo haber afección de todos los elementos hematológicos.⁸⁸

13.3 Tratamiento

El tratamiento para la exposición a corto y largo plazo es muy similar, la terapia con quelantes comienza con dimercaprol (3 a 4 mg /kg por vía intramuscular cada 4 a 12 horas) hasta que desaparezcan los síntomas abdominales y se expulse el carbón vegetal activado (si se administró en un principio) por las heces. Cuando se llega a este punto es posible sustituir al dimercaprol por penicilamina ingerida y continuar el tratamiento durante cuatro días. La penicilamina debe administrarse en cuatro fracciones, hasta un máximo de 2 g/día. Si reaparecen los síntomas después de interrumpir el uso de quelantes, cabe emprender un segundo ciclo con penicilamina. Los efectos adversos de los quelantes pueden limitar su utilidad. En la nefropatía grave inducida por arsénico a veces se necesita diálisis, por este método es satisfactoria la eliminación de dicho mineral.⁸⁸

El hidruro arsenioso (arsina gaseosa), es una causa rara de intoxicación en el trabajo industrial; lo característico de esto es la hemólisis rápida y a menudo letal, como consecuencia de la combinación de dicho gas con la hemoglobina para reaccionar después con oxígeno y causar hemólisis. Alas pocas horas de la

exposición aparecen cefalea, anorexia, vómito, aprestesia, dolor abdominal, escalofríos, hemoglobinuria, bilirrubinemia y anuria. Se destaca la “triada de la arsina” que consiste en hemólisis, dolor abdominal y hematuria. La ictericia se manifiesta luego de las 24 horas. A menudo se presenta una hiperpigmentación cutánea “cuprosa”, que al parecer se debe a la metahemoglobina. Es imposible eliminar por diálisis el complejo arsina-hemoglobina, y por ello en casos graves se recomienda la exanguinotransfusión, también puede usarse la diuresis alcalina forzada; no es recomendable usar el dimercaprol ya que no influye en la hemólisis.⁸⁸

14. Efectos tóxicos y tratamiento del cadmio

14.1 Intoxicación aguda por cadmio

Esta intoxicación suele ser por la inhalación de polvos y vapores de cadmio (por lo común el óxido de cadmio), y de la ingestión de las sales de este metal.

Los primeros efectos tóxicos se deben a irritación local. Luego de su ingestión se producen náusea, vómito, sialorrea, diarrea y cólicos abdominales; los vómitos y diarrea suelen ser sanguinolentos.

A corto plazo, el cadmio es más tóxico si se inhala, los signos y síntomas que aparecen en término de horas son irritación de vías respiratorias con neumonitis temprana e intensa, dolores retrosternales, náusea, mareo y diarrea.⁸⁹

14.2 Intoxicación crónica por cadmio

El riñón es afectado después de exposición pulmonar o gastrointestinal; se observan efectos intensos en los pulmones solamente después de exposición por inhalación.

a) Riñones

Aunque se excreta poco cadmio por la bilis, el complejo de cadmio-metalotioneína puede transportar cadmio a los riñones, en donde se libera como cadmio inorgánico. Con una exposición más grave se presenta aminoaciduria, glucosuria y proteinuria. La medición de microglobulina B2 en orina es parte del estándar de la OSHA para evaluar y vigilar la intoxicación por cadmio, aunque quizá no constituya el mejor índice de exposición, ya que algunos consideran que la proteína ligada a retinol pudiera ser un mejor índice.⁸⁹

b) Pulmones

La inhalación excesiva de vapores y polvos de cadmio es la pérdida de la capacidad respiratoria, el síntoma más frecuente es la disnea. El cadmio inhibe la síntesis de antitripsina α_1 , generando enfisema en el ser humano.

c) Aparato cardiovascular

Hay mucha controversia por los efectos del cadmio en el ser humano ya que influye en la génesis de la hipertensión. Un estudio epidemiológico inicial indicó que las personas que fallecían de hipertensión mostraban concentraciones mucho mayores de cadmio que las que fallecían por otras causas. Sin embargo, no se han observado efectos constantes del cadmio en la presión arterial de animales de experimentación, y la hipertensión no es notable en la intoxicación por cadmio en el medio industrial.⁹⁰

d) Huesos

Se ha observado que en sujetos expuestos al cadmio en su ocupación, disminuyen las reservas corporales de calcio, esto puede deberse a la interferencia en la regulación del balance de calcio y fosfato por los riñones.

e) Cáncer

El cadmio produce tumores en diversos órganos cuando se aplica a animales de laboratorio, los datos de que el cadmio es carcinógeno para el ser humano se basan más bien en estudios epidemiológicos realizados en trabajadores expuestos ocupacionalmente al metal. Dichas investigaciones identificaron de manera primaria tumores de pulmones y, en menor grado de próstata, riñones y estómago.⁹¹

14.3 Tratamiento

Ha sido difícil encontrar un tratamiento eficaz contra la intoxicación por cadmio, una medida desde un primer momento es alejar al enfermo de la fuente y vigilar con gran cuidado la ventilación pulmonar.

Dentro del tratamiento con quelantes tenemos al CaNa_2EDTA , su dosis es de 75 mg /Kg /día en tres a seis fracciones durante cinco días. Luego de dos días sin tratamiento se debe emprender un segundo ciclo de cinco días, en este ciclo la dosis no debe exceder de 500 mg /Kg. El uso de dimercaprol y ditiocarbamatos sustituidos parece promisorio en sujetos expuestos a muy largo plazo al cadmio.⁹¹

II. PARTE EXPERIMENTAL

El tipo de investigación es: descriptivo, transversal y experimental.

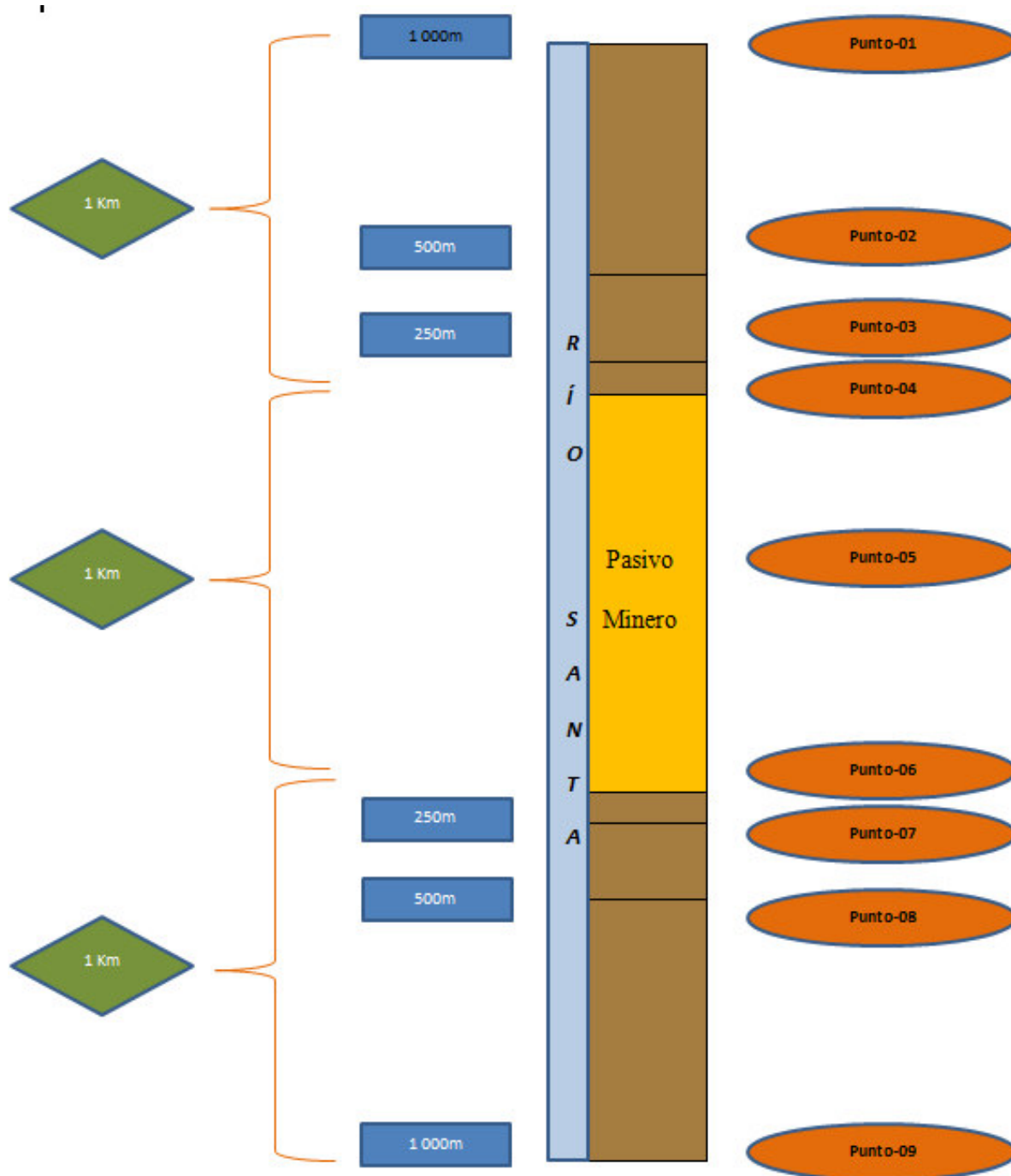


Figura 15. Esquema de muestreo de aguas tomadas en los 9 puntos de un tramo del río Santa, en el PAM, Recuay y Ticapampa

Fuente: Elaboración propia



Figura 16. Esquema de muestreo de aguas tomadas en los 9 puntos de un tramo del río Santa, en el PAM, Recuay y Ticapampa

Fuente: Elaboración propia

1. MUESTREO DE AGUAS

Se realizaron 36 análisis distribuidas así:

- a) Nueve muestras de aguas para la determinación de plomo:
 - Tres muestras antes del pasivo minero ambiental
 - Tres muestras en el pasivo minero ambiental
 - Tres muestras después del pasivo minero ambiental
- b) Nueve muestras de aguas para la determinación de arsénico:
 - Tres muestras antes del pasivo minero ambiental
 - Tres muestras en el pasivo minero ambiental
 - Tres muestras después del pasivo minero ambiental
- c) Nueve muestras de aguas para la determinación de cadmio
 - Tres muestras antes del pasivo minero ambiental
 - Tres muestras en el pasivo minero ambiental
 - Tres muestras después del pasivo minero ambiental
- d) Una muestra tomada en la laguna de Conococha: “blanco referencial”
 - Un frasco con agua de la laguna de Conococha (para el análisis de plomo, arsénico y cadmio)
- e) Un Blanco Viajero:
 - Un frasco con agua purificada cerrado durante todo el viaje (para el análisis de plomo, arsénico y cadmio)
- f) Un Blanco de Muestreo:
 - Un frasco con agua purificada que se abrió solo en cada punto de muestreo (para el análisis de plomo, arsénico y cadmio)

2. Ubicación del punto de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo cumplió los siguientes criterios:

- a) **Identificación:** El punto de muestreo, fue identificado y reconocido claramente, de manera que permitirá su ubicación exacta en muestreos futuros.
- b) **Accesibilidad:** Permitió un rápido y seguro acceso al lugar establecido para tomar la muestra.
- c) **Representatividad:** Se eligió un punto en donde el río estaba lo más regular, accesible y uniforme en profundidad. Se consideró la referencia para la ubicación

de un punto de monitoreo pudiendo ser un puente, roca grande, árbol, kilometraje vial y localidad.

d) Registro de datos de campo

Ficha de registro de campo: Utilizada en el monitoreo contiene la siguiente información:

- Se registró el código del punto de muestreo, origen de la fuente, descripción clara y definida del punto de muestreo, hora y fecha de muestreo, localidad, distrito, provincia y departamento.
- Se registraron todas las mediciones realizadas en el monitoreo, los parámetros tomados en cuenta fueron la medida del pH y la temperatura del agua en cada punto del muestreo.
- Para realizar esta actividad fue necesario el uso del papel indicador de pH y un termómetro digital.

3. Muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis

Para esto se siguieron las recomendaciones establecidos en los “Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales – American Public Heal Association, American Waer Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”.

3.1 Consideraciones Generales

- Los frascos utilizados son de polietileno estables (de primer uso), los cuales estuvieron limpios y secos para evitar contaminación.
- El lavado de los frascos consistió en una solución de Ácido Nítrico cc (1:1), lavándose los frascos y luego se los enjuagó con agua purificada para finalmente dejarlos secar al medio ambiente, quedando así listos los frascos para el muestreo.

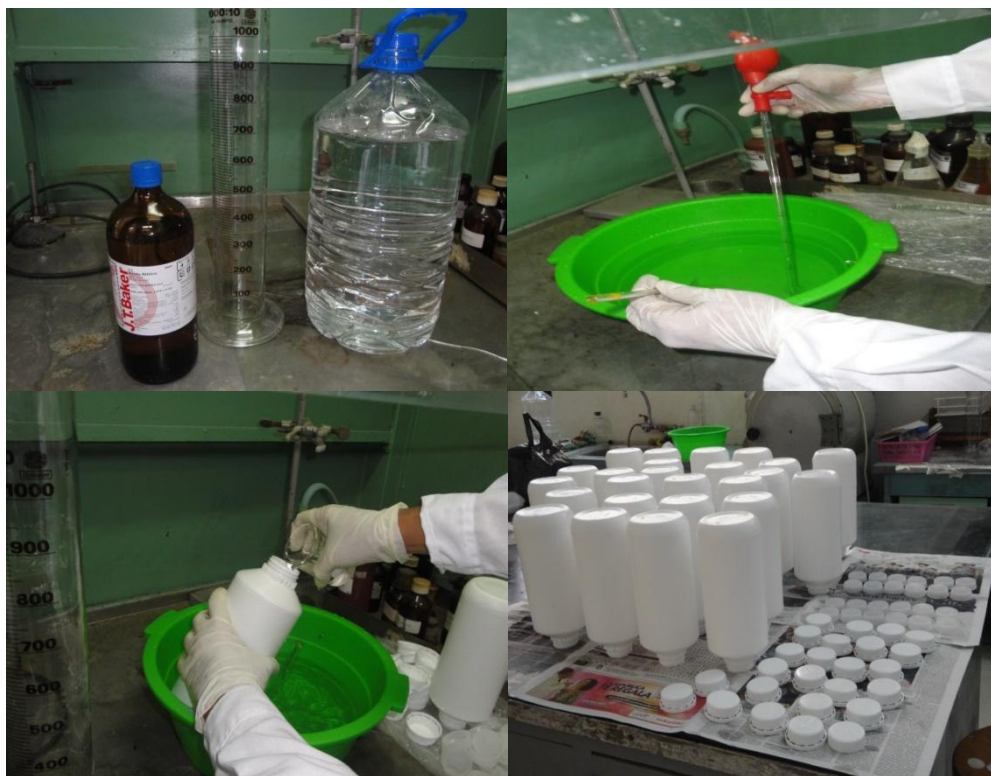


Figura 17. Preparación de materiales utilizados para el muestreo de aguas del río

Santa en el PAM, Recuay y Ticapampa

Fuente: Elaboración propia

- Las muestras requirieron almacenamiento a baja temperatura y/o preservación con químicos para mantener su integridad durante el transporte y antes del análisis en el laboratorio.
- El preservante químico a usar fue el ácido nítrico. Teniendo cuidado en su manipulación.
- Se usó cajas térmicas apropiadas para el transporte de las muestras para almacenar las muestras tomadas, materiales de empaque y hielo.
- Se llenaron los registros de cada muestra recolectada (ficha de muestreo) e identificó cada frasco (etiquetado).
- La indumentaria de protección del personal que realizó el muestreo estuvo constituido por pantalón, gorra, chaleco, botas de jebe muslera, guantes de jebe y quirúrgico.
- Materiales de campo como soga, balde, cronometro, cajas térmicas, ice pack.

- Materiales de laboratorio como pizeta, pipetas y/o goteros, bombilla de succión, frascos inertes.

3.2 Toma, preservación y conservación de las muestras de agua

Es importante considerar las etapas que se tiene que dar en todo proceso de muestreo, con la finalidad que la muestra sea lo más representativa posible y así asegurar la integridad desde su recolección hasta el reporte de los resultados por ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

3.2.1 Toma de Muestras:

- a) Para la toma de muestras en ríos se evitó las áreas de turbulencia excesiva, considerando la profundidad, la velocidad de la corriente y la distancia de separación entre ambas orillas.
- b) La toma de muestra se realizó en el centro de la corriente a una



profundidad de acuerdo al parámetro a determinar.

Figura 18. Cauce del río Santa en el tramo del PAM, Recuay y Ticapampa

Fuente: Elaboración propia

- c) La toma de muestras, se realizó en dirección opuesta al flujo del recurso hídrico.

- d) Se consideró un espacio de alrededor del 1 % aproximadamente de la capacidad del envase (espacio de cabeza) para permitir la expansión de la muestra.
- e) En la toma de muestra para determinar plomo, cadmio y arsénico se empleó frascos inertes de boca ancha con cierre hermético, limpios de un litro de capacidad. Se abrió el envase y sumergió a unos 20 cm por debajo de la superficie y luego se preservó; así mismo se mantuvieron las muestras en cajas protectoras de plástico a 4 °C aproximadamente.

Como el objetivo de nuestro proyecto es determinar la presencia de plomo, arsénico y cadmio; entonces las tomas de muestras fueron enfocados hacia los parámetros físicos químicos.



Figura 19. Toma de muestra en el río Santa en el tramo del PAM

Recuay y Ticapampa

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Medición de parámetros en campo:

- a) La medición de los parámetros en campo se realizó tomando una muestra del recurso hídrico utilizando un balde limpio (previo enjuague).



Figura 20. Toma de muestra en la laguna de Concococha

Fuente: Elaboración propia

- b) En primer lugar deberá se midió la temperatura, luego el pH.



Figura 21. Toma de muestra en la laguna de Concococha, medición de pH

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Preservación de las muestras de agua:

- a) Una vez tomada la muestra de agua, se procedió a adicionarle el preservante requerido, que en nuestro caso fue ácido nítrico. Esto consistió en agregar Ácido Nítrico 65 % cc hasta llevar el agua muestreada a un pH 2,0 (aproximadamente 1,5 mL)
- b) Una vez preservada la muestra, se cerró herméticamente el frasco y para mayor seguridad encintar la tapa para evitar cualquier derrame del líquido.

3.2.4 Identificación de las muestras de agua:

Los recipientes fueron identificados antes de la toma de muestra con una etiqueta, escrita con letra clara y legible la cual fue protegida con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

- Número de Muestra (referido al orden de toma de muestra).
- Código de identificación (punto y/o estación de muestreo).
- Origen de la fuente.
- Descripción del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- Preservación realizada, tipo de preservante utilizado.
- Tipo de análisis requerido.
- Nombre del responsable del muestreo.

3.2.5 Conservación y envío de las muestras de agua:

- Las muestras recolectadas se conservaron en cajas térmicas (Coolers) a temperatura recomendada, disponiendo para ello con preservantes de temperatura (Ice pack, otros).
- Las muestras recolectadas para análisis físico químicos fueron entregados al laboratorio en el menor tiempo posible, dentro de las 24 horas de realizado el muestreo.⁹²

Parámetro	Material del frasco	Volumen requerido	Conservación / Preservación	Tiempo máximo para análisis
Metales en general	V(A) o P(A)	1 000 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH<2	2 meses
Arsénico	V(A) o P(A)	1 000 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH<2 Refrigerar 4°C	2 meses
Cadmio	V(A) o P(A)	1 000 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH<2 Refrigerar 4°C	28 días

Tabla 14. Requisitos para toma de muestras de aguas y su manipulación-determinaciones químicas

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales

3.3 Determinación de metales por espectrometría de absorción atómica

La técnica hace uso de la espectrometría de absorción para evaluar la concentración de un analito en una muestra. Se basa en gran medida en la ley de Beer-Lambert.

En resumen, los electrones de los átomos en el atomizador pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular, y en general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento.

Como la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible, a partir de la ley de Beer-Lambert, calcular cuántas de estas transiciones tiene lugar, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide.

Para analizar los constituyentes atómicos de una muestra es necesario atomizarla. La muestra debe ser iluminada por la luz. Finalmente, la luz es transmitida y medida por un detector. Con el fin de reducir el efecto de emisión del atomizador (por ejemplo, la radiación de cuerpo negro) o del ambiente, normalmente se usa un espectrómetro entre el atomizador y el detector.⁹³

III. RESULTADOS

Tabla 15. Cuadro general de las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en aguas del Río Santa en el Pasivo Minero Ambiental de

Recuay, Ticapampa – Recuay - Ancash

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	PROCEDENCIA	MES - AÑO	pH	TEMPERATURA	arsénico µg /L	cadmio mg /L	plomo mg /L
1	Punto 01 Antes del PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,2 °C	13,5	0,027	0,261
2	Punto 02 Antes del PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,5 °C	14,1	0,032	0,104
3	Punto 03 Antes del PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,5 °C	12,5	0,027	0,024
4	Punto 04 En el PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,6 °C	17,9	0,017	0,111
5	Punto 05 En el PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,7 °C	25,6	0,021	0,131
6	Punto 06 En el PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,6 °C	221,6	0,154	4,726
7	Punto 07 Después del PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,3 °C	19,8	0,019	0,126
8	Punto 08 Después del PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,1 °C	28,3	0,031	0,171
9	Punto 09 Después del PAM	Río Santa (Ticapampa, Recuay - ANCASH)	mar-13	6,0	12,4 °C	10,1	0,028	0,108
10	Blanco Lago	Laguna Conococha	mar-13	6,0	14,6 °C	4,5	0,011	0,022
11	Blanco Viajero	Lima (Agua Purificada)	mar-13	7,0	---	< 0.5	0,001	0,005
12	Blanco Muestreo	Lima (Agua Purificada)	mar-13	7,0	---	< 0.5	0,001	0,004

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Concentración de arsénico en aguas del río Santa en el Pasivo Minero Ambiental de Recuay, Ticapampa – Recuay – Ancash

Puntos de muestreo	Arsénico mg /L
Punto 01	0,0135
Punto 02	0,0141
Punto 03	0,0125
Punto 04	0,0179
Punto 05	0,0256
Punto 06	0,2216
Punto 07	0,0198
Punto 08	0,0283
Punto 09	0,0101
Punto 10: Laguna de Conococha	0,0045
Blanco Viajero	<0,0005
Blanco Muestreo	<0,0005
Promedio	0,0404
Límite permisible	0,0100
Mínimo Valor	0,0101
Máximo Valor	0,2216

Fuente: Elaboración propia

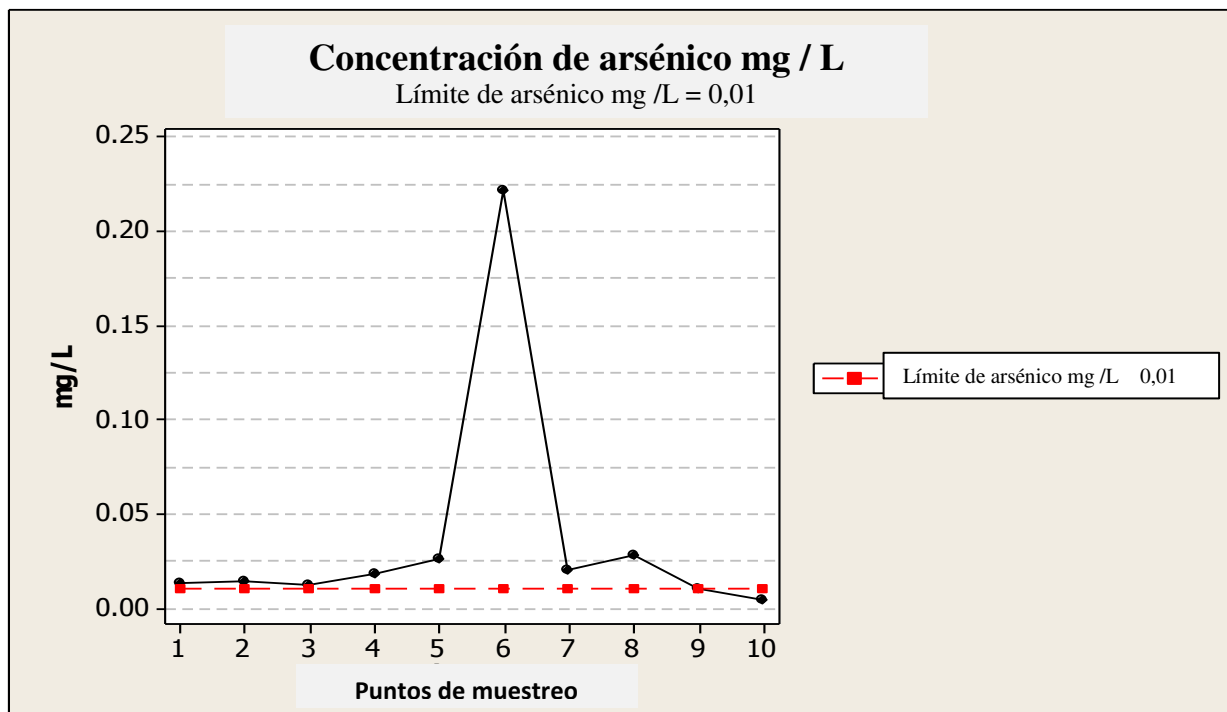


Figura 22. Variación de la concentración de arsénico tomadas en las muestras de agua del río Santa en el tramo del PAM, Ticapampa – Recuay

Fuente: Elaboración propia

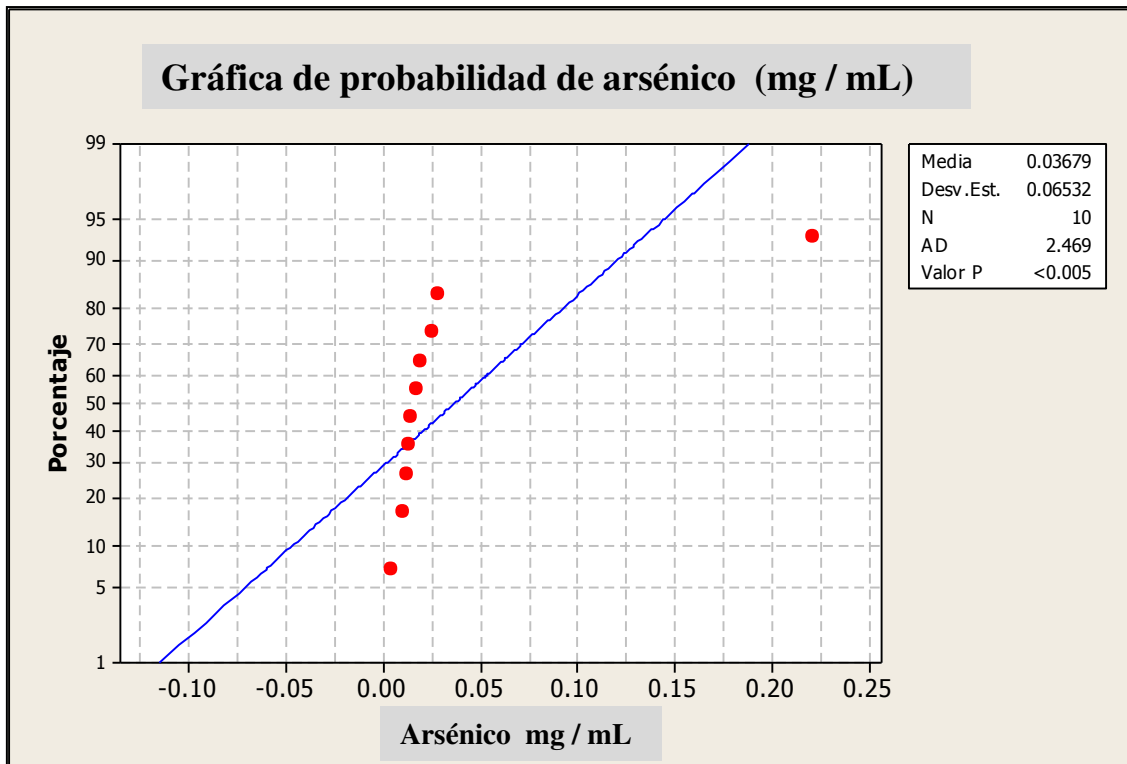


Figura 23. Gráfica de probabilidad de arsénico

Fuente: Elaboración propia

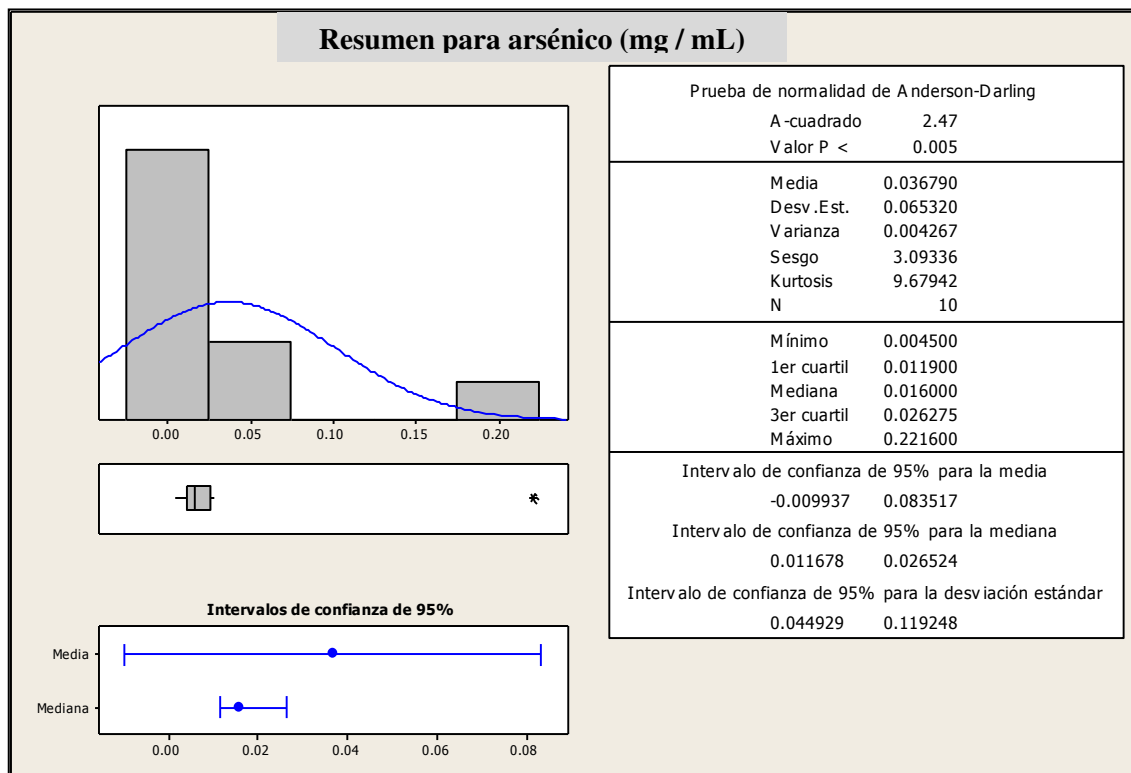
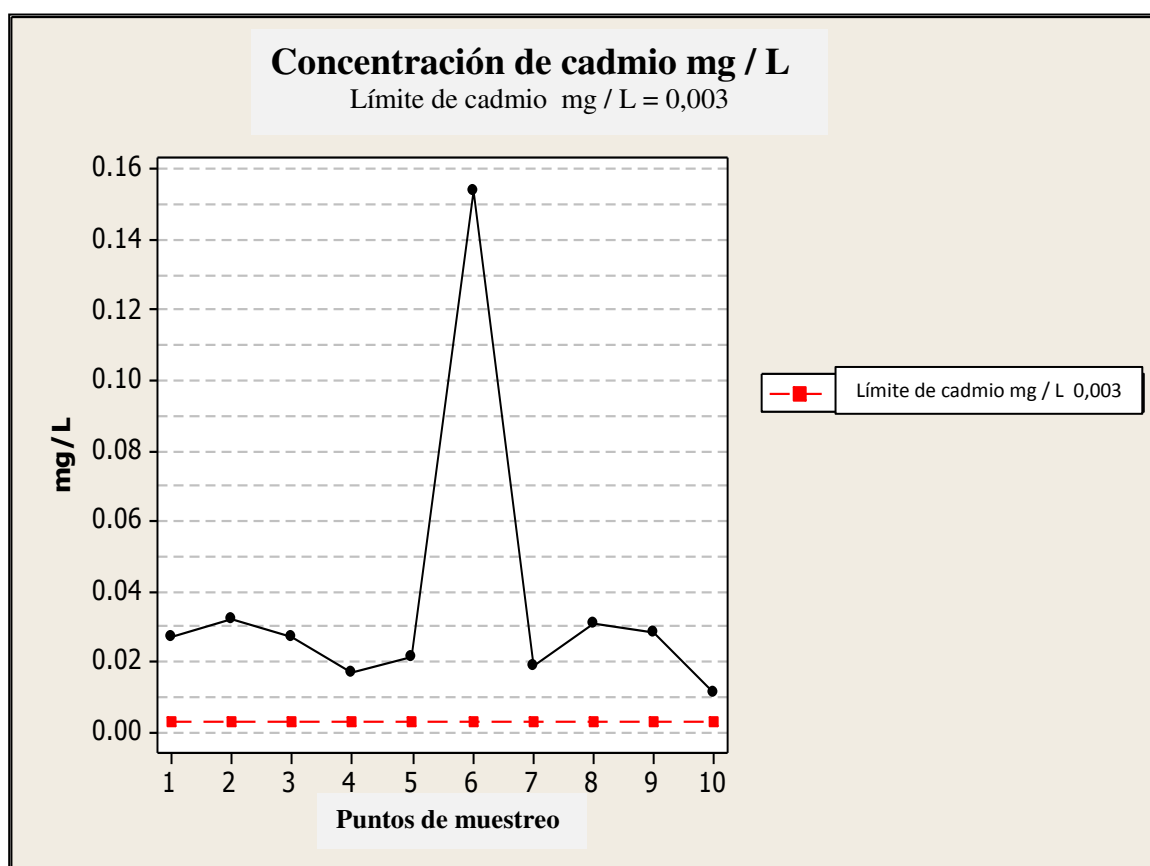


Figura 24. Resumen para arsénico prueba de Anderson-Darling

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Concentración de cadmio en aguas del río Santa en el Pasivo Minero Ambiental de Recuay, Ticapampa – Recuay – Ancash

Puntos de muestreo	Cadmio mg/L
Punto 01	0,0270
Punto 02	0,0320
Punto 03	0,0270
Punto 04	0,0170
Punto 05	0,0210
Punto 06	0,1540
Punto 07	0,0190
Punto 08	0,0310
Punto 09	0,0280
Punto 10: Laguna de Conococha	0,0110
Blanco Viajero	0,0010
Blanco Muestreo	0,0010
Promedio	0,0396
Límite permisible	0,0030
Mínimo Valor	0,0170
Máximo Valor	0,1540



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Variación de la concentración de cadmio tomadas en las muestras de agua del río Santa en el tramo del PAM, Ticapampa – Recuay

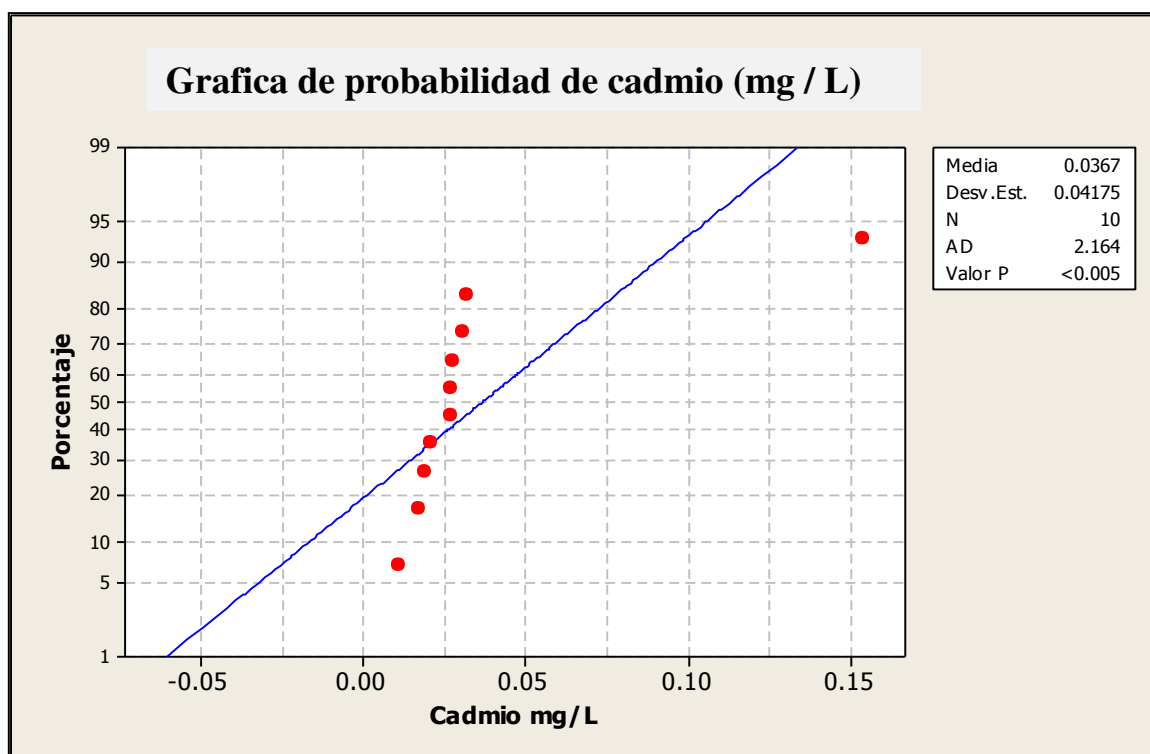


Figura 26. Gráfica de probabilidad de cadmio

Fuente: Elaboración propia

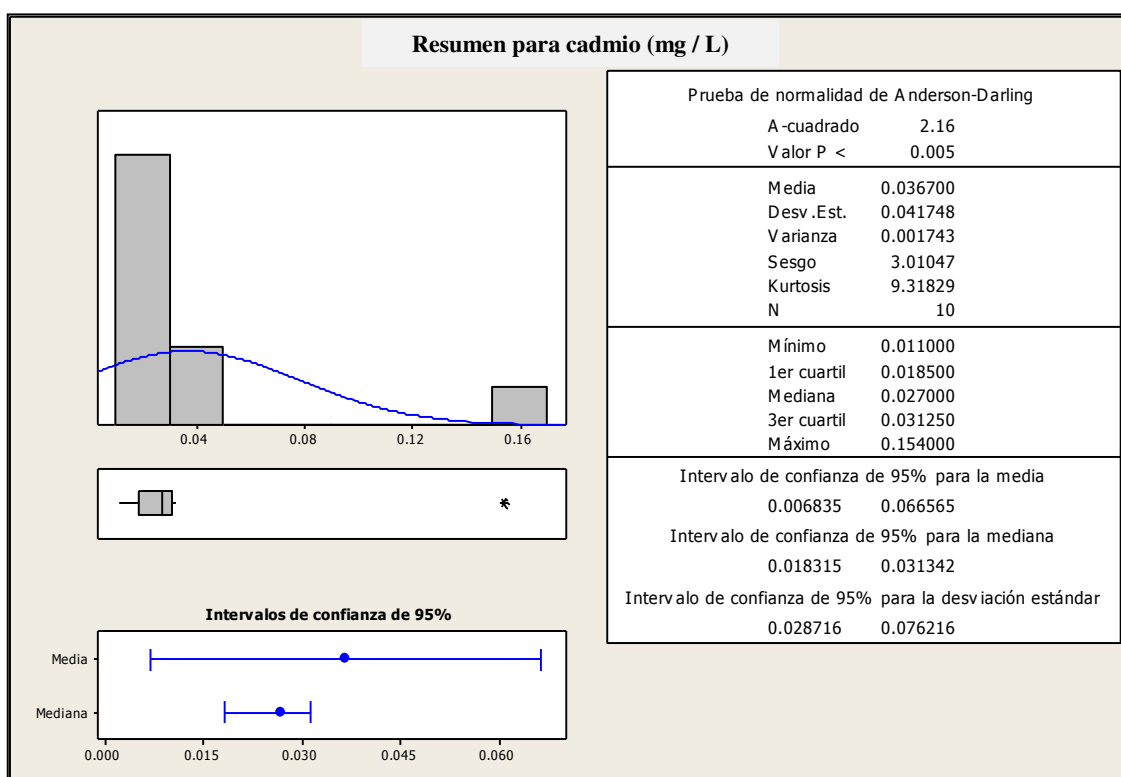


Figura 27. Resumen para cadmio prueba de Anderson-Darling

Fuente: elaboración propia

Tabla 18 Concentración de plomo en aguas del río Santa en el Pasivo Minero Ambiental de Recuay, Ticapampa – RECUAY – ANCASH

Puntos de muestreo	Plomo mg/L
Punto 01	0,2610
Punto 02	0,1040
Punto 03	0,0240
Punto 04	0,1110
Punto 05	0,1310
Punto 06	4,7260
Punto 07	0,1260
Punto 08	0,1710
Punto 09	0,1080
Punto 10: Laguna de Conococha	0,0220
Blanco Viajero	0,0050
Blanco Muestreo	0,0040
Promedio	0,6402
Límite permisible	0,0100
Mínimo Valor	0,0240
Máximo Valor	4,7260

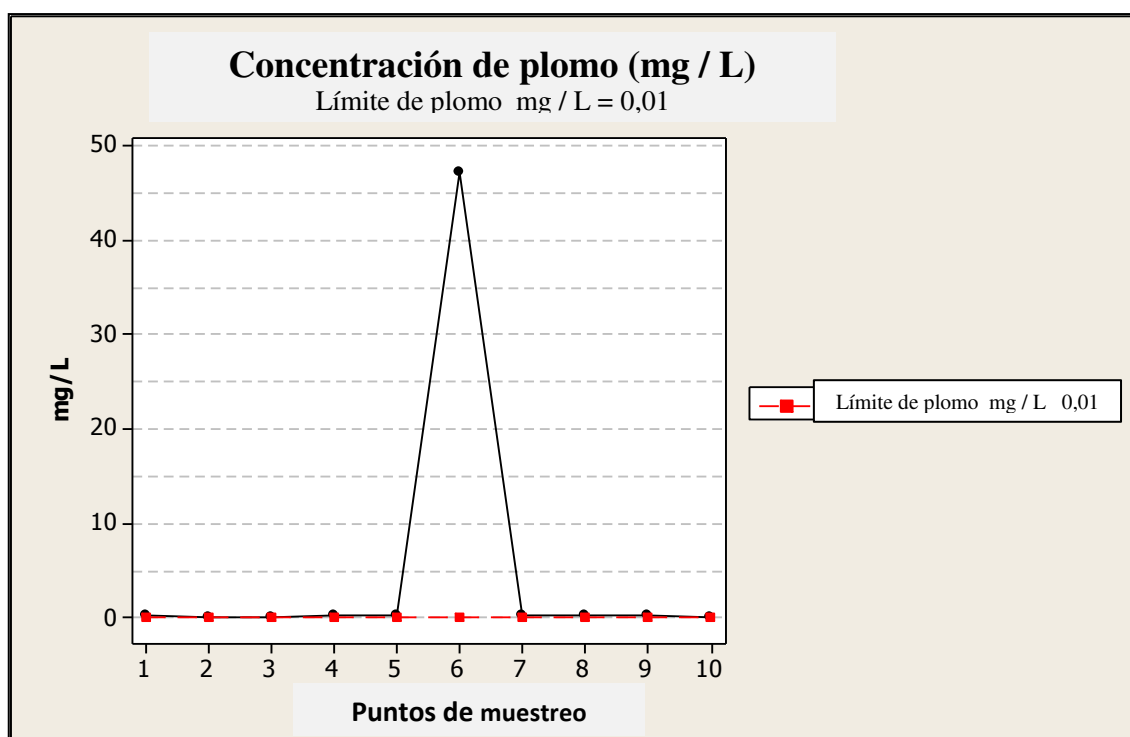


Figura 28. Variación de la concentración de plomo tomadas en las muestras de agua del río Santa en el tramo del PAM, Ticapampa – Recuay

Fuente: Elaboración propia

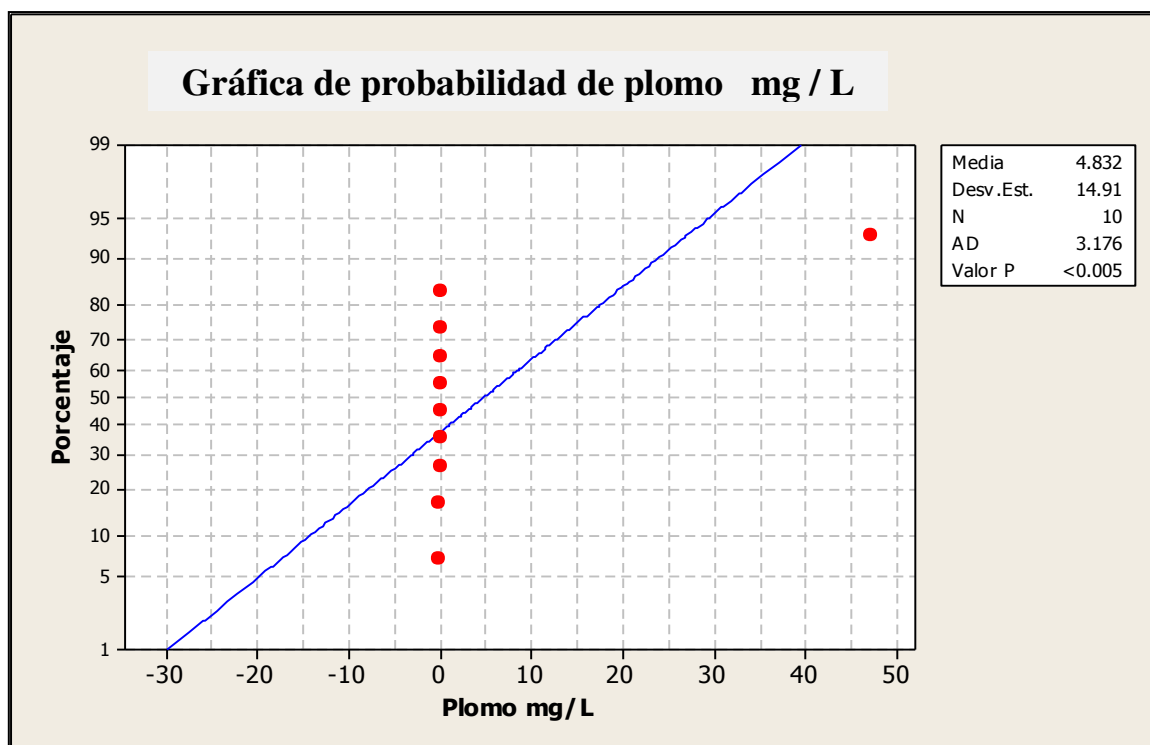


Figura 26. Gráfica de probabilidad de plomo

Fuente: Elaboración propia

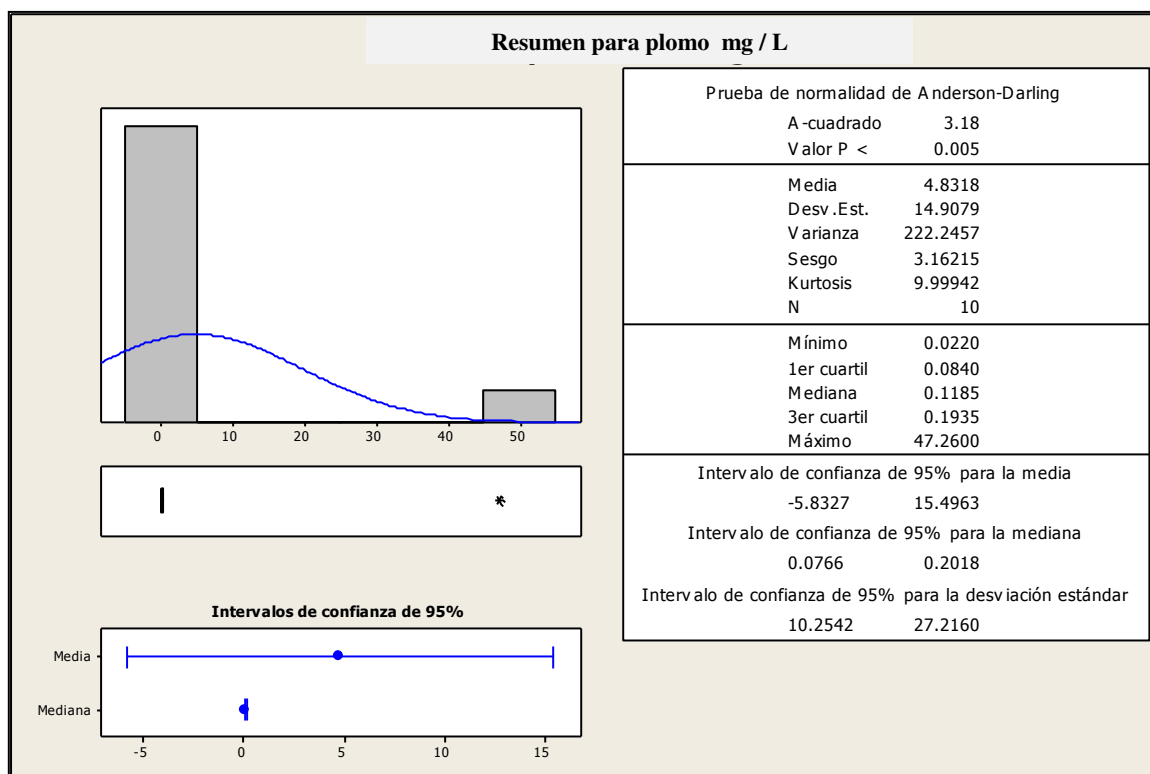


Figura 27. Resumen para plomo prueba de Anderson-Darling

Fuente: elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

1. Tomamos como tema importante este estudio, porque a nivel nacional donde la actividad minera es de manera artesanal e informal se encuentran y permanece en un claro descuido por parte de las empresas responsables y por la falta de fiscalización del gobierno, y estos trae como consecuencia que los PAM siguen exponiendo a la población a niveles muy altos de contaminantes, en especial los metales referidos en este estudio y a causa de ello, se ven alterados los ecosistemas de la región.

2. Según la **tabla 16**, la concentración de arsénico” (LMP = 0,01 mg / L)

En las muestras tomadas 1000 m, 500 m y 250 m antes del PAM (punto 01, punto 02 y punto 03 respectivamente), se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,0134 mg / L, excediendo en un 34 % al LMP. En las 03 muestras tomadas a lo largo del PAM (punto 04, punto 05 y punto 06), se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,0884 mg / L, excediendo en un 784 % al LMP. En las muestras tomadas 1000 m, 500 m y 250 m después del PAM (punto 07, punto 08 y punto 09 respectivamente), se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,0194 mg / L, excediendo en un 94 % al LMP.

3. Según la **tabla 17**, la concentración de cadmio” (LMP = 0,003 mg / L)

En las muestras tomadas 1000 m, 500 m y 250 m antes del PAM (punto 01, punto 02 y punto 03 respectivamente), se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,02870 mg / L, excediendo en un 857 % al LMP. En las 03 muestras tomadas a lo largo del PAM (Punto 04, Punto 05 y Punto 06) se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,0640 mg / L, excediendo en un 2033 % al LMP. En las muestras tomadas 1000 m, 500 m y 250 m después del PAM (punto 07, punto 08 y punto 09 respectivamente), se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,0260 mg /L, excediendo en un 767 % al LMP.

4. Según la **tabla 18 concentración de plomo” (LMP = 0,01 mg / L)**

En las muestras tomadas 1000 m, 500 m y 250 m antes del PAM (punto 01, punto 02 y punto 03 respectivamente), se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,1297 mg / L, excediendo en un 1197 % al LMP. En las 03 muestras tomadas a lo largo del PAM (punto 04, punto 05 y punto 06) se observa que la concentración promedio tiene como resultado 1,6560 mg / L, excediendo en un 16460 % al LMP. En las muestras tomadas 1000 m, 500 m y 250 m después del PAM (punto 07, punto 08 y punto 09 respectivamente), se observa que la concentración promedio tiene como resultado 0,1350 mg / L, excediendo en un 1250 % al LMP.

5. El promedio final de las muestras para determinar arsénico resultó 0,0404 mg / L, excediendo en 304 % el LMP. El promedio final de las muestras para determinar cadmio resultó 0,0396 mg / L, excediendo en 1220 % el LMP. El promedio final de las muestras para determinar plomo resultó 0,6402 mg / L, excediendo en 6302 % el LMP.

6. En base a los resultados obtenidos, se observa que los valores más altos hallados de los 03 metales se encuentran en el punto de muestreo nro. 6 (En el PAM).

7. Los elevados niveles de concentración de estos metales, deben su origen principalmente a la presencia de este Pasivo Minero Ambiental en la zona de Ticapampa-Recuay, viéndose así afectado principalmente las zonas aledañas, ya que estos contaminantes son llevados a través de la corriente del río Santa.

8. Los resultados en el punto 10 “Laguna Conococha” se observa que la muestra tomada también contiene estos metales pesados y sus concentraciones están en niveles que superan a los límites permisibles, como es en el caso del cadmio y plomo. Para el caso del arsénico, este si presenta concentraciones que están por debajo de los límites permisibles.

9. Como era de esperarse los resultados del “Blanco Viajero” y “Blanco Muestreo” están muy por debajo de los Límites Máximos Permisibles.
10. Los niveles de cadmio, arsénico y plomo en las aguas superficiales del río Santa (específicamente en la zona de muestreo localizada en zonas aledañas al Pasivo Minero Ambiental Ticapampa-Recuay) fueron muy superiores a los valores máximos permitidos establecidos en los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua” para diferentes usos, específicamente para consumo humano.
11. Debemos de tener en consideración estos resultados, puesto que son de gran importancia debido a que el río Santa es considerado una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para las poblaciones que se encuentran localizadas a lo largo de su trayecto, incluyendo así todo tipo de actividades que se desarrollan en la región, como la agrícola y ganadera, viéndose así afectado en el desarrollo de productos que son consumidos en la zona donde se realizó el presente trabajo.

V. CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash, del Punto 01 al Punto 09 superan los límites máximos permisibles.
2. Las concentraciones de plomo en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash; dieron como valor mínimo 0,0240 mg / L, el valor máximo 4,7260 mg / L y un valor promedio de 0,6402 mg / L.
3. Las concentraciones de cadmio en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash; dieron como valor mínimo 0,0170 mg /L, el valor máximo 0,1540 mg / L y un valor promedio de 0,0396 mg / L.
4. Las concentraciones de arsénico en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash; dieron como valor mínimo 0,0101 mg / L, el valor máximo 0,2216 mg / L y un valor promedio de 0,0403 mg/L.
5. Las concentraciones de plomo en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash; superan los límites máximos permisibles de 0,0100 mg / L, las concentraciones de cadmio en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash; superan los límites máximos permisibles de 0,0030 mg / L, las concentraciones de arsénico en las aguas del río Santa en el Pasivo Ambiental Minero de los distritos Recuay, Ticapampa, de la provincia Recuay, departamento de Ancash; superan los límites máximos permisibles de 0,0100 mg / L.

6. Tanto los resultados de la muestra tomada en la laguna de Conococha (para el caso del arsénico) y los dos blancos dieron valores por debajo de los límites máximos permisibles, todos los demás valores obtenidos, los superan ampliamente, contaminando así la flora y fauna de la región y afectando la salud de la población de la zona.

VI. RECOMENDACIONES

- 1.** Se debe anticipar con tiempo la obtención del Ácido Nítrico 69%-70%, ya que es un insumo controlado por el gobierno y se necesita trámites adicionales para su obtención.
- 2.** Llevar cascos de seguridad para evitar lesiones por la caída de granizo al momento de realizar el muestreo.
- 3.** El gobierno regional o central debe regular y establecer un programa de control, coordinado con las empresas o mineras involucradas para evitar la liberación de estos contaminantes en el río.
- 4.** Se debe realizar estudios de la concentración de estos metales en la sangre de los pobladores aledaños, como también la calidad de su suelo y aire para así poder determinar el grado de contaminación en la zona.
- 5.** Organizar charlas y campañas a la población sobre prácticas del cuidado del medio ambiente, dándoles a conocer los peligros que se podrían presentar en su salud y, así como en la flora y fauna de la región.
- 6.** Se debería realizar la biorremediación como un mecanismo para detener la contaminación y así retornar a la región a sus condiciones naturales de antes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ministerio de Energía y Minas. ESTUDIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL TERRITORIAL Y DE PLANEAMIENTO PARA REDUCCIÓN O ELIMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE ORIGEN MINERO EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA - Dirección de Asuntos Ambientales. Lima : MINEM; 1998
2. Calzado, L. Caracterización y categorización de los problemas ambientales de la minería en el Perú. Primer Simposio Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera – Colegio de Ingenieros del Perú. 1997
3. Jara, M. Extracción química secuencial de metales pesados en el estudio de alteración química de relaves de mina en Ticapampa (Huaraz, Perú)-2007
4. Padilla J, Ramírez E, Barra R. y Barreto J; Niveles de concentración de metales pesados En especies vegetales emergentes En el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz, Perú, 2006
5. Rodriguez C. “Determinacion y comparación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada según la distancia al Complejo Metalúrgico DOE RUN PERU en La Oroya” - (Tesis Químico Farmacéutico), UNMSM-FFyB. 2011
6. Hernandez R. “Leadglazed ceramics as major determinants of blood lead levels in mexican women”, Environ Health perspect – 2004
7. MNISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, “Estudio de evaluación ambiental territorial y de planeamiento para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa”, Lima, 2007
8. Ivanildo H., “Control de la contaminación del agua”; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/OMS. 1ra Edición p. 15, 2009
9. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO, “La calidad del agua potable en el Perú” - PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS. Lima, 2006

10. Documento Informativo Ticapampa. [Sede web]. Ancash; 2010 [fecha de acceso 05 de marzo de 2013]. Pasado, presente y futuro de Ticapampa. Disponible en: http://ticapampa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10:historia-de-ticapampa-segunda-parte&catid=1:historia&Itemid=2
11. Primera Página. [Sede web]. Ancash; 2011 [fecha de acceso 05 de marzo de 2013]. Inminente es la contaminación minera en Ticapampa. Disponible en: <http://www.primerapaginaperu.com/article/actualidad/mineria/6309/>
12. Centro de Investigación Periodística. [Sede web]. Lima; 2011 [fecha de acceso 06 de marzo de 2013]. Pasivos Ambientales Mineros en Perú: bombas de tiempo de las que nadie se hace responsable. Disponible en: <http://ciperchile.cl/2011/11/17/pasivos-ambientales-mineros-en-peru-bombas-de-tiempo-de-las-que-nadie-se-hace-responsable/>
13. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. [Sede web]. Lima; 2009 [fecha de acceso 07 de marzo de 2013]. Remediación del Pasivo Ambiental de Ticapampa y creación de valor a los residuos inertes. Disponible en: http://www.convencionminera.com/perumin30/encuentro_operadores/tt/cesar_astocaza.pdf
14. Justin L, Vázquez A, Siebe C. Cadmio, Níquel y Plomo en agua , suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*. 2001; 35: 267-74.
15. Álvarez N, Pedroza A, López N. Avance científico para remover el arsénico del agua. *Revista Brasileira de Toxicología*. 2011; 10: 27-28.
16. Contreras J, Mendoza C. Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad, Ciencia y Sociedad República Dominicana*. 2004; 29: 38-71.
17. Gómez A, Villalba A, Castañeda M. Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2004; 20: 5-12.
18. Romero A, Medina R, Puente L, Flores S. Los residuos sólidos mineros del proceso de flotación de minerales en la cuenca del río Santa – Ancash. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. 2009; 11: 14-28
19. Villanueva R. Características de la cuenca del Río Santa. *Revista del Instituto de Montaña*. [revista en línea] 2011 Diciembre [fecha de acceso 30 de noviembre de 2014]; 01(01): 20-21. Disponible en : <http://www.mountain.pe/wp-content/uploads/2012/02/Folleto-1-Caracteristicas-Cuenca-Rio-Santa.pdf>

20. Huaraz Noticias [Sede web]. Ancash; 2010 [fecha de acceso 05 de marzo de 2013].
Ticapampa pronto sin pasivos mineros. Disponible en:
<http://www.huaraznoticias.com/locales/ticapampa-pronto-sin-pasivos-mineros>
21. Romero A, Flores S, Medina R. Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. [revista en línea] 2008 Noviembre. [fecha de acceso 07 de marzo de 2013]; 11 (22): 13-16. Disponible en:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11_n22/a02vo111n22.pdf
22. COBBING, E.J.; SANCHEZ, F.A.; MARTINEZ, U.W. ; ZARATE, O.H. Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, la Unión, Chiquian y Yanahuanca – INGEMMET. Boletín N°76, Serie A: Carta Geológica Nacional. N.71, 1996.
23. Ministerio de Energía y Minas – Dirección de Asuntos Ambientales “Estudio de Evaluación Ambiental Territorial y de Planeamiento para Reducción o Eliminación de la Contaminación de origen minero en la cuenca del Río Santa” Lima – Perú- 1998
24. Ministerio de Energía y Minas: Dirección General de Minería – INGEMMET “Estudio Geoquímico de las Aguas del Río Santa y los Suelos de las Irrigaciones de Chavimochic y Chinecas ”- 2000
25. CHAVEZ J.; “Los Sedimentos como Indicadores de Contaminación ” Seminario Taller: Manejo Ambiental en el Sector Minero–Metalúrgico–TECCSUP-LIMA- 1997
26. GURRIERI; J.T. : Distribution of metals in water and sediment and effects an a aquatic biota in apper Stillwater River Basin, MONTANA, en Journal of geomechical Exploration -1998.
27. KLOHN CRIPPEN Estudio de Impacto Ambiental; Proyecto Pierina - 1997
28. Ministerio de Salud – Dirección General del Medio Ambiente: Estudio de la Contaminación y Preservación del Río Santa , Vol II; República del Perú SANIDRO – Ingenieros Consultores - 1984
29. Dammert A, “Fiscalización de las actividades minero metalúrgicas respecto al medio ambiente, la seguridad minera y la responsabilidad social.” Presentación OSINERGMIN - 1997
30. Defensoría del Pueblo. Informe extraordinario: Los conflictos socio-ambientales por actividades extractivas en el Perú - 2007

31. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Documento EPA 815-F-00- 007 - 2000
32. Arce O, Metales pesados presentes en el agua. Manual de prácticas. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia - 2000
33. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. SEDIMENTOLOGIA, Química del sedimento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Madrid, España – 2010.
34. Cervantes C., Moreno R. Contaminación ambiental por metales pesados impacto en los seres vivos. AGT, Editor, S.A. México - 2010
35. Departamento de ciencias ambientales, Manifestación de impacto ambiental P. H. La Yesca. Informe, estudio de la calidad de agua. Universidad de Guadalajara. México – 2005.
36. Harte J., et al. Guía de las sustancias contaminantes, El libro de los tóxicos de la A a la Z. Ed. Grijalbo – 1991.
37. MOPU . Los residuos tóxicos y peligrosos. Dirección General del Medio Ambiente, Madrid – 1982.
38. Moreno D. Toxicología ambiental: Evaluación de riesgo a la salud. McGraw-Hill. Madrid, España – 2003.
39. Rosas H. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 2001.
40. Usero, J., et al., Contaminación por metales en sedimentos acuáticos. Tecnología del agua – 1997.
41. Belkin, H.E., Sparck, H.M. Mercury, arsenic, antimony, and selenium contents of sediment from the Kuskokwim River, USA. Environmental Geology – 1993.
42. Campbell, P.G.C., Tessier, A. Metals Speciation, Separation and Recovery. Lewis. Michigan – 1987.
43. Ahumada R., Contreras S. Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V y Zn) en los sedimentos marinos de la región patagónica, Chile. Ciencia y Tecnología del Mar – 2002.
44. Fundación MAPFREE. Manual de Contaminación Ambiental. ITSEMAP AMBIENTAL. Madrid, España – 1994.
45. González A., et al. Granulometría, sedimentación, composición y contenido total de metales pesados en los sedimentos del rio Cobre, de Santiago de Cuba. Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Química, Universidad de Oriente – 2004.

- 46.** Ministerio de Medioambiente . Guía Para La Elaboración De Estudios Del Medio Físico, Contenido Y Metodología. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, Centro de Publicaciones – 2000.
- 47.** Martínez L. Estudio de contaminación del río La Laja, Jalisco 1996-1998. Tesis de grado. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Cs. Biológicas y Agropecuarias. Guadalajara, Jalisco – 2002.
- 48.** Romero A.M. et al. Metales (Cr, Pb y Zn) en sedimentos y quironomidos del río Rocha. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental – 2000.
- 49.** Fondo Nacional del Ambiente – FONAM. Inventario, Diagnóstico, y Priorización de los Pasivos Ambientales en la cuenca del río Llaucano -Hualgayoc. Lima, Perú – 2006.
- 50.** García G. Apuntes de derecho minero común. Lima: Editorial Cuzco – 1982.
- 51.** Glave M. y Kuramoto J. “Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en Perú.” En Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA), Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) e Iniciativa de Investigación sobre Políticas Mineras (IIPM) – 2002.
- 52.** Kuramoto J. Las aglomeraciones productivas alrededor de la minería: El caso de Minera Yanacocha S.A. Grupo de Análisis para el Desarrollo GRADE. Documento de Trabajo 27- 1999.
- 53.** Kuramoto, Juana. Artesanal and informal minning in Peru. Lima: Grupo de Análisis para el Desarrollo GRADE – 1994.
- 54.** Lohmann G. Las Minas de Huancavelica en los Siglos XVI y XVII. Sevilla: Escuela de Estudios HispanoAmericanos – 1949.
- 55.** Ministerio de Energía y Minas. Plan Referencial de Minería 2000-2009 – 2001.
- 56.** Ministerio de Energía y Minas. Anuario Minero 2004 – 2004.
- 57.** Ministerio de Energía y Minas. Inventario de Pasivos Ambientales Mineros. Informe Preliminar. Dirección General de Minería – 2006.
- 58.** Ministerio de Energía y Minas. Inventario de pasivos ambientales:Manual para el procedimiento de trabajo de campo. Dirección General de Minería – 2006.
- 59.** Ministerio de Energía y Minas."Características de la industria minera: ¿Sabes cómo se buscan y se procesan los recursos minerales – 2007.
- 60.** Pascó-Fónt A. Peru: Informal mining and the environment. Lima: Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE) – 1999.

61. Shannon M. «Lead» en Haddad, Shanon y Winchester editores: Clinical Management of Poisoning and Drug Overdose. WB Saunders, 3ra edición, 1998.
62. Krantz A, Dorevitch S. Metal exposure and common chronic diseases: A guide for the clinician. Dis Mon 2004.
63. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Case Studies in Environmental Medicine: Lead Toxicity. US Department of Health and Human Services, Public Health Service; 2006.
64. La Dou J. Medicina Laboral y Ambiental. 2ª. Edición. México:Ed. El Manual Moderno. 1999.
65. Ellis KJ, Vartsky D, Zanzi I, Cohn S, Yasumuru S. Cadmium: in vivo measurement in smokers and non – smokers. Science 1979
66. González E. Toxicocinética y evaluación de riesgos para la salud producidos por exposición a cadmio. Medicina y Seguridad del Trabajo. 1988. XXXV: 3-17.
67. Piotrowski J, Coleman D, Environmental Hazards of Heavy Metals: Summary Evaluation of Pb, Cd and Hg”. Marc Report N° 20, MARC, Chelsea College, University of London. London 1990.
68. Kjellstrom T, Nordberg G. A kinetic model of Cd metabolism in the human being. Environ Res 1978; 16: 248–69.
69. Oleru U, liver, hair and lungs as indicators of Cd absorption. Am Ind Hyg Assoc J 1976; 37: 617-30.
70. Kido T, Shaikh A, Kito H, Honda R, Nogawa K. Dose– response relationship between urinary cadmium and metallothionein in a Japanese population environmentally exposed to cadmium. Toxicology 1991; 65: 325–32.
71. Lauwerys R. L’mpact sanitaire de la pollution par le cadmium en Belgique: Etat de la question. Mémoires de l’Académie Royale de Médecine de Belgique 1986; 141: 453-9.
72. Vuori R, Huunan–Seppala A, Kilpio JO, Salmela SS. Biologically active metals in human tissues: II. The effect of age on the concentration of Cd in aorta, heart, kidney, liver, lung, pancreas and skeletal muscle. Scand J Work Environ Health 1979; 5: 16-48.
73. Ellemhorn M. Medical Toxicology. 2nd Edition. Baltimore,USA:Williams & Wilkins. 1996.
74. Jin T, Leffler P, Nordberg GF. Cadmium–metallothionein nephrotoxicity in the rat; transient calciuria and proteinuria. Toxicology 1987; 45: 307–17.

- 75.** Kawada T, Koyama H, Suzuki S. Cadmium, NAG activity, and B2M in the urine of cadmium pigment workers. *Br J Ind Med* 1989; 46: 52–5.
- 76.** Berggard I, Beran A. Isolation and properties of a low molecular weight B2M occurring in human biological fluids. *J Biol Chem* 1988; 643: 4095–103.
- 77.** Nordberg G. (Ed): *Effects and Dose– Response Relationships of Toxic metal*. Amsterdam:Elsevier. 1976.
- 78.** Atsdr . *Toxicological Profile for Arsenic*. US Departament and Human Services – 1993.
- 79.** Nriagu J: *Arsenic in the environment. Part II: Human Health and Ecosystem Effects*. Wiley and Sons, Inc, new York – 1994.
- 80.** Chapel W, Abernathy Co and Cotherm CR. *Arsenic. Exposure and Health, Science and Technology letters*, Northwood - 1994
- 81.** Aposhian H, Aposhian M. *Newer Developments in Arsenic Toxicity*. J. Am Coll, Toxicol – 1998.
- 82.** AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, “Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338”, Dirección de Gestión del Conocimiento y Coordinacion Interinstitucional. Lima : ANA; 2009
- 83.** MINISTERIO DEL AMBIENTE, “Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua” Decreto Supremo 023-2009: MINAM; 2009
- 84.** Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. [Sede web]. Chihuahua; 2012 [fecha de acceso 08 de octubre de 2013]. Estándares primarios y secundarios según EPA. Disponible en: <http://filtrosyequipos.com/breves/estandares.pdf>
- 85.** Valdivia M. Intoxicación por plomo. *Revista Sociedad Peruana de Medicina Interna*. 2009.
- 86.** Universidad Nacional de Córdoba. [Sede Web]. Argentina; 2013 [fecha de acceso 04 de diciembre de 2013]. Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. Disponible en: http://www.saludpublica.fcm.unc.edu.ar/sites/default/files/RSP13_1_08_art5.pdf
- 87.** Ministerio de Salud. *GUIA DE PRÁCTICA CLÍNICA PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DE LA INTOXICACIÓN POR PLOMO* – Dirección General de Salud de las Personas. Lima: MINSA; 2011
- 88.** OMS. *Arsénico*. Centro de Prensa. 9a Revisión. 2012; 839-846

- 89.** Pérez P, Azcona M. Los efectos del Cadmio en la salud. Revista de Especialidad de Medicina Quirúrgica. 2012.
- 90.** Ramírez A. Toxicología del Cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Anales de la Facultad de Medicina. 2002; 63 (1): 51-64
- 91.** Archivos de Neurociencias. [Sede Web]. México; 2011 [fecha de acceso 18 de noviembre de 2013]. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>
- 92.** Protocolo del monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales, MINISTERIO DE SALUD – DIGESA-2007
- 93.** Sarmiento C. “Evaluación química toxicológica de: Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo en las aguas del Río Mala” - (Tesis Químico Farmacéutico), Universidad Nolbert Wiener-FFyB. 2006

ANEXOS

Anexo 1: Parámetros de lectura para plomo

Método: Determinación de plomo por horno de grafito.

PARÁMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de Sistema	Horno
Elemento	Pb
Matriz	Ácido Fosfórico 0,1%.
Corriente de Lamp.	5.00mA
Longitud de Onda	283.30nm
Ancho de corte	0.50nm
Tamaño de Apertura	Reducido
Modo de Instrumento	Encender Abs. BC

Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN	
Modo de Calibración	LS Lineal a través de Cero
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de Conc.	ppb
Punto decimal de Conc.	2
Falla de Calibración	No
Acción de fallo de cal.	Continuar
Medir muestra en Blanco después de Cal.	No
Auto-guardar método después de cal.	No

Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE MUESTRA	
Modo de Medición	Área máxima.
Introducción de Muestras	Automático
Constante de Tiempo	0.00
Replicas	3

Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

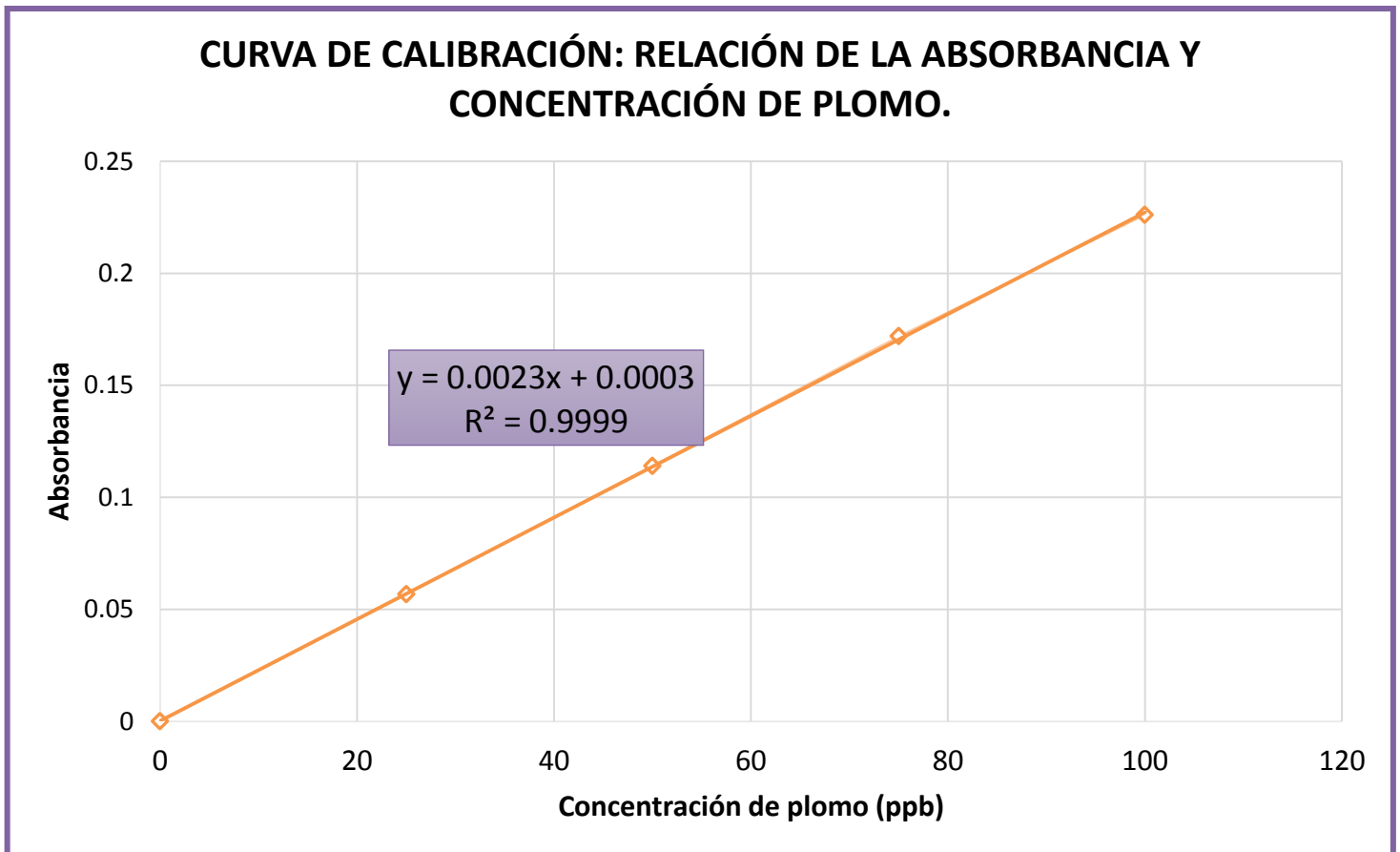
➤ **CALIBRACIÓN COMPLETA:**

Modo de calibración: LS Lineal A través de Cero, **Error máx.:** 0.6331, **R²:** 0.9998, **R:** 0.9999, **Conc. =** 439.6764*Abs.

Muestra Etiquetada	Conc. Pb (ppm)	Media Abs.
Cal Blanco	-----	0.0000
Estándar 1	25.00	0.0567
Estándar 2	50.00	0.1140
Estándar 3	75.00	0.1719
Estándar 4	100.00	0.2260

Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

Curva de Calibración de Plomo



Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

Anexo 2: parámetros de lectura para cadmio

Método: Determinación de Cadmio por Horno Grafito.

PARÁMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de Sistema	Horno
Elemento	Cd
Matriz	Ácido Fosfórico 0,1%.
Corriente de Lamp.	3.00mA
Longitud de Onda	228.80nm
Ancho de corte	2.00 nm
Tamaño de Apertura	Reducido
Modo de Instrumento	Encender Abs. BC
PARAMETROS DE CALIBRACIÓN	
Modo de Calibración	LS Lineal a través de Cero
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de Conc.	Ppb
Punto decimal de Conc.	2
Falla de Calibración	No
Acción de fallo de cal.	Continuar.
Medir muestra en Blanco después de Cal.	No
Auto-guardar método después de cal.	Si

Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE MUESTRA	
Modo de Medición	Area máxima.
Introducción de Muestras	Automatico
Constante de Tiempo	0.00
Replicas	3

Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

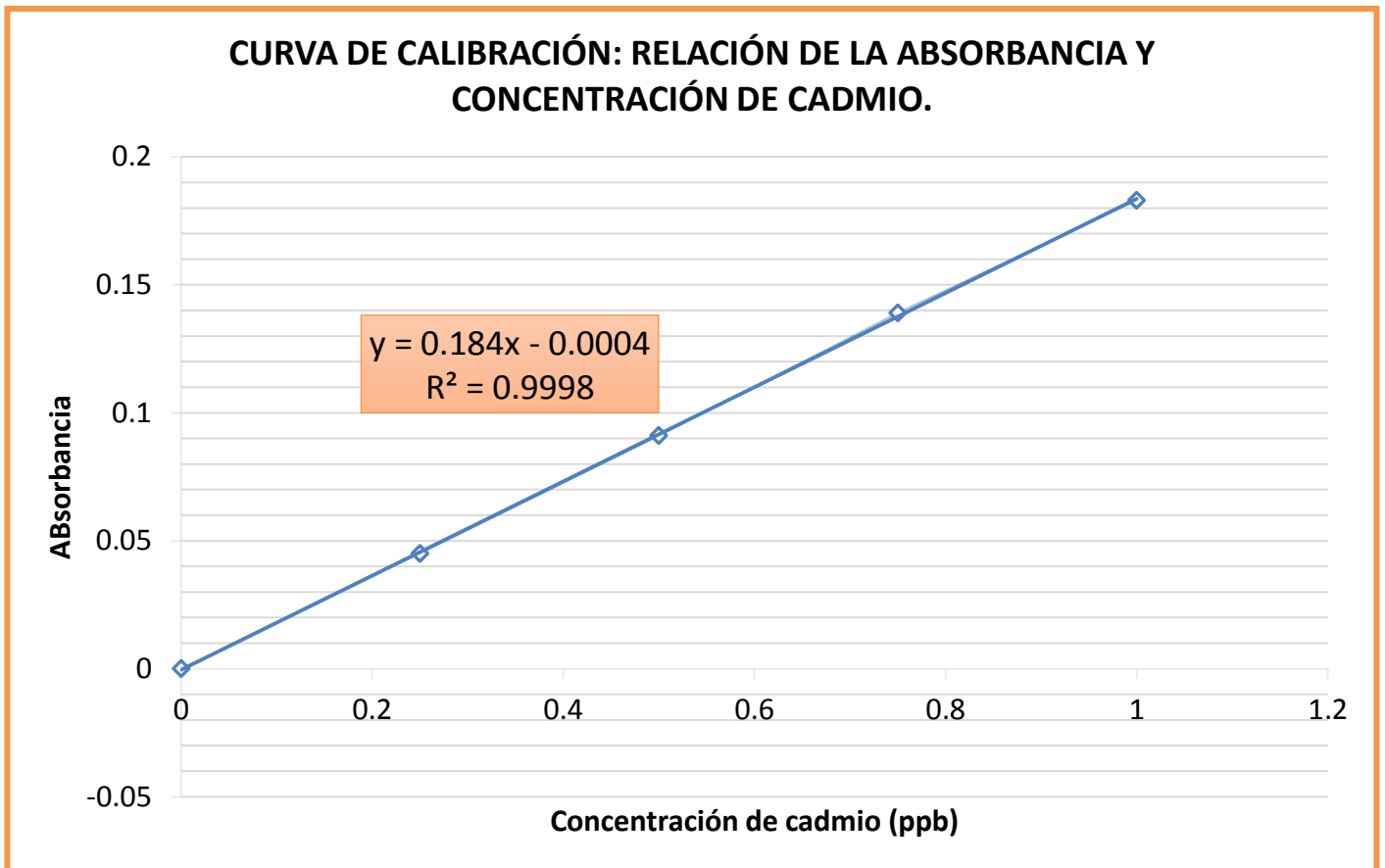
➤ **CALIBRACIÓN COMPLETA:**

Modo de calibración: LS Lineal A través de Cero, **Error máx.:** 0.0087, **R²:** 0.9997, **R:** 0.9999, **Conc. = 5.4585 * Abs.**

Muestra Etiquetada	Conc. Cd (ppm)	Media Abs
Cal. Blanco	-----	0.0000
Estándar 1	0.25	0.0450
Estándar 2	0.50	0.0910
Estándar 3	0.75	0.1390
Estándar 4	1.00	0.1830

Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

Curva de Calibración de Cadmio



Fuente: cadmio y plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012

Anexo 3: parámetros de lectura para arsénico

Método: Determinación de Arsénico por Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros (FIAS).

PARÁMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de Sistema	Generación de Hidruros (FIAS).
Elemento	As
Matriz	HCl 30%
Corriente de Lamp.	8.00mA
Longitud de Onda	193.70nm
Ancho de corte	2.00 nm
Tamaño de Apertura	Reducido
Modo de Instrumento	Apagar Abs. BC

Fuente: arsénico: APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012

PARAMETROS DE CALIBRACIÓN	
Modo de Calibración	LS Lineal a través de Cero
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de Conc.	Ppb
Punto decimal de Conc.	2
Falla de Calibración	No
Acción de fallo de cal.	Parar
Medir muestra en Blanco después de Cal.	No
Auto-guardar método después de cal.	Si

Fuente: arsénico: APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012

PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE MUESTRA	
Modo de Medición	Integración
Introducción de Muestras	Manual.
Constante de Tiempo	0.00 s
Replicas	3

Fuente: arsénico: APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012

PARAMETROS CONTROL DE FLAMA	
Tipo de Flama	Aire- Acetileno
Combustible	1.100 l/min
Flujo de Aire	11.10
Angulo de Quemador	0.00 °

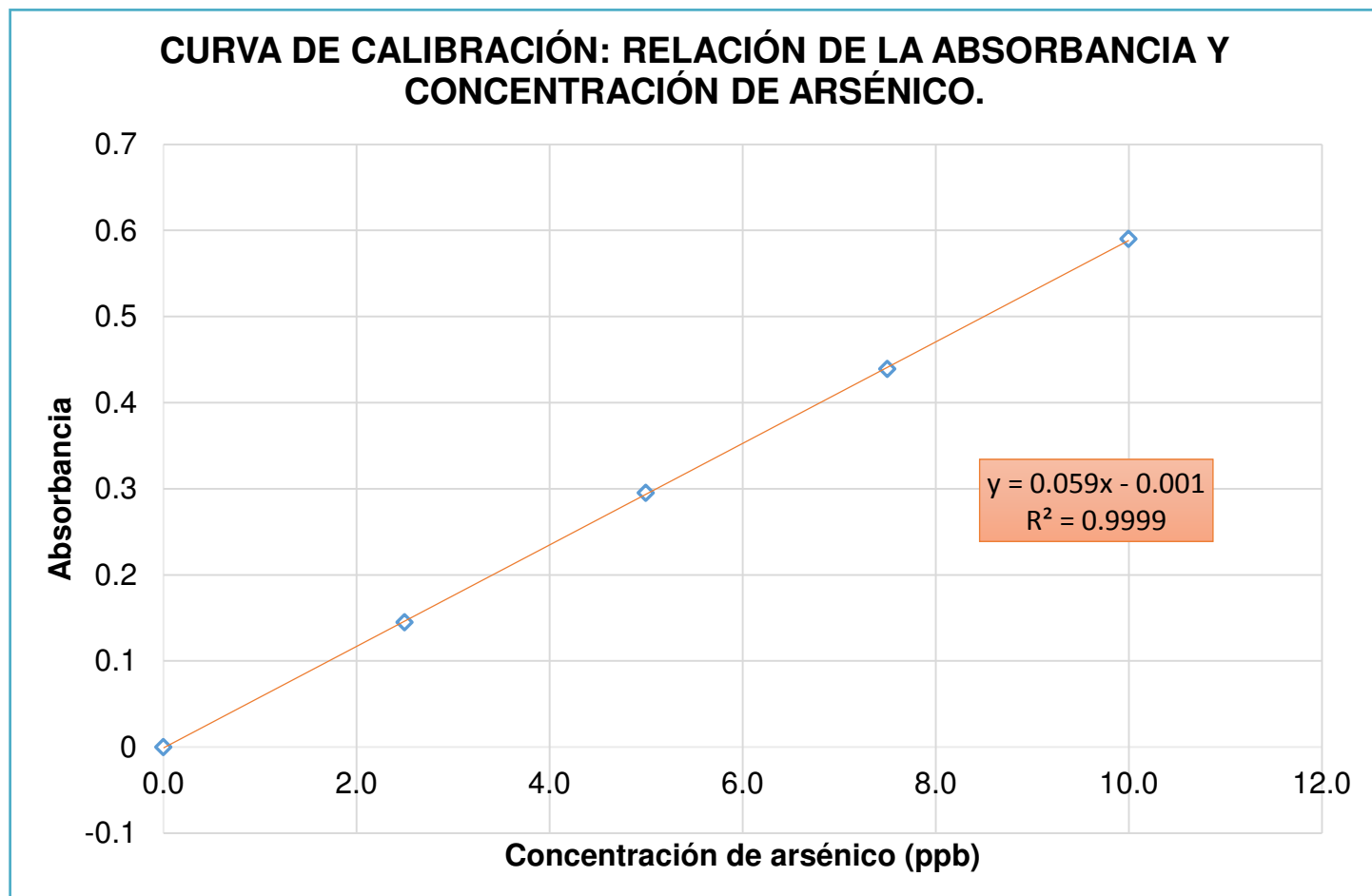
Fuente: arsénico: APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012

➤ **CALIBRACIÓN COMPLETA:**

Muestra Etiquetada	Conc. As (ppb)	Media Abs
Cal. Blanco	-----	0.0000
Estándar 1	2.50	0.145
Estándar 2	5.00	0.295
Estándar 3	7.50	0.439
Estándar 4	10.00	0.590

Fuente: arsénico: APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012

Curva de Calibración de Arsénico.



Fuente: arsénico: APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012

Anexo 4: Etiqueta de las muestras

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS Facultad de Farmacia y Bioquímica			
Número de Muestreo :		Fecha y Hora de Muestreo :	
Se solicita :		Fecha y Hora de llegada al laboratorio :	
Fuente :			
Localidad :			
Distrito :		Cantidad de Muestra :	
Provincia :			
Departamento :		Muestreador :	
Preservada :		Observaciones :	
Parámetros	pH :		
	T°C :		

Anexo 5: registro de parámetros de la toma de muestras

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	PROCEDENCIA	MES - AÑO	pH	TEMPERATURA
1	Punto 01 Antes del PAM				
2	Punto 02 Antes del PAM				
3	Punto 03 Antes del PAM				
4	Punto 04 En el PAM				
5	Punto 05 En el PAM				
6	Punto 06 En el PAM				
7	Punto 07 Después del PAM				
8	Punto 08 Después del PAM				
9	Punto 09 Después del PAM				
10	Blanco Lago				
11	Blanco Viajero				
12	Blanco Muestreo				

Anexo 6: Especificaciones del ácido nítrico usado durante la toma de muestras

JTBaker

Acido

Acido Nítrico

68.0-70.0 % / BAKER INSTRUMENTAL ANALYZED / para el análisis de trazas de metales / ACS

9598

► HNO_3

M = 63.01 g/mol

11 = 1.42 kg

CAS NO. 7697-37-2

EINECS 231-714-2

NC CODE 2808 0000

EC NO. 7 004 00 1

UN/ID NO. 2031

ADR/RID 8 C01

MDG 8/II

R: 35

S: 23-26-36-45

corrosivo

Meets ACS Specifications

Assay	69.0-70.0%
Appearance	passes test
Color (APHA)	max. 10
Residue after Ignition	max. 2 ppm
Specific Gravity at 60°/60°F	1.416-1.420

Trace Impurities (in ppb):

Aluminium (Al)	max. 30
Arsenic and Antimony (as As)	max. 5
Barium (Ba)	max. 1
Beryllium (Be)	max. 1
Bismuth (Bi)	max. 1
Boron (B)	max. 4
Cadmium (Cd)	max. 1
Calcium (Ca)	max. 50
Chromium (Cr)	max. 10
Cobalt (Co)	max. 1
Copper (Cu)	max. 1
Gallium (Ga)	max. 20
Germanium (Ge)	max. 4
Gold (Au)	max. 4
Heavy Metals (as Pb)	max. 100
Iron (Fe)	max. 10
Lead (Pb)	max. 0.5
Lithium (Li)	max. 1
Magnesium (Mg)	max. 7
Manganese (Mn)	max. 1
Mercury (Hg)	max. 0.5
Molybdenum (Mo)	max. 5
Nickel (Ni)	max. 1
Niobium (Nb)	max. 1
Potassium (K)	max. 5
Silicon (Si)	max. 20
Silver (Ag)	max. 1
Sodium (Na)	max. 200
Strontium (Sr)	max. 1
Tantalum (Ta)	max. 2
Thallium (Tl)	max. 5
Tin (Sn)	max. 5
Vanadium (V)	max. 1
Zinc (Zn)	max. 5

Zirconium (Zr) max. 1

Trace Impurities (in ppm):

Chloride (Cl)	max. 0.04
Phosphate (PO_4)	max. 0.1
Sulfate (SO_4)	max. 0.4

CÓDIGO	CAPACIDAD	CONT. CAJA
9598.0500	500 ml	6
9598.2500	2.5 l	4

Anexo 7: Características del cooler usado durante la toma de muestras

Coleman Cooler 100 Wheeled Xtreme



Ficha Técnica

Atributos	Detalle
Capacidad	94 L
Características	Conserva la temperatura hasta 5 días. Asas recubiertas, tapa con bisagras
Alto	47.2 cm
Profundidad	46.9 cm
Largo	109.5 cm
Cierre	Hermético
Distribución de la temperatura	Uniforme en todo su espacio interno

Anexo 8: Características del “gel frío” usado para la conservación de muestras durante el viaje



El Gel Pack Tippic tiene un punto de congelación por debajo de los 0°C, por esa razón puede aportar más tiempo de frío que el hielo.

Gel Pack Tippic

El Gel Pack Tippic es un polisacárido natural modificado que en contacto con el agua y otras sustancias, forma una masa viscosa cuyo punto de congelación está por debajo de los 0°C y por esa razón puede aportar más tiempo de frío que el hielo para mantener baja temperatura. Más aún, después de usarse puede ser colocado nuevamente a congelarse y así usarlo repetidamente. Esto implica ahorro de agua, no se desperdicia, como cuando el hielo se derrite.

La característica de la bolsa del Gel Pack Tippic es la de un bi-laminado de polietileno, extruida con el aditivo EVA que resiste las bajas temperaturas de congelación sin que el plástico se quiebre y/o se rompa. Adicionalmente, la impresión de la bolsa es interna, garantizando que las tintas nunca entren en contacto con los productos que se transportan. El envasado es automático en una línea completa de acero inoxidable, con una capacidad de producción de 22 bolsas de 500gr por minuto para atender volúmenes de exportación. Finalmente, se ha agregado elementos de trazabilidad como el número de lote, fecha de producción y código de barras, que nos permite garantizar la calidad de nuestro producto.

Este Gel Pack Tippic viene presentado en bolsas de 250 ó 500 gramos en medidas de 15 x 12 cm. y de 15 x 20 cm. respectivamente.

El envasado es automático en una línea completa de acero inoxidable, con una capacidad de producción de 22 bolsas de 500gr por minuto para atender volúmenes de exportación.

Anexo 9 : Reporte de los resultados del Centro Toxicológico



CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX

Resolución Directoral R.D. N° 354-2008-AG-SENASA-DIAIA
Inscrito en Registro de Laboratorios de Control de Calidad de Plaguicidas Agrícolas
N° 001-AG-SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Ministerio de Agricultura

Jr. Pisac 192 - Oficina 102 - Urb. Residencial Higuiereta - Santiago de Surco
Telefax: (511) 273-2318 www.cetox.com.pe servicios@cetox.com.pe

INFORME DE ENSAYO

TIT - 13 - 0035


1. Solicitante : Sr. Ronal Quispe Pozo y Sr. Franklin Graza Evaristo
2. Análisis solicitado : Cuantificación de arsénico, cadmio y plomo
3. Muestra : Agua (muestras proporcionadas por el solicitante)
4. Fecha de Recepción : 27/03/2013
5. Fecha de Emisión : 03/04/2013

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

N°	Código de la Muestra	Arsénico (As) (ug/L)	Cadmio (Cd) (mg/L)	Plomo (Pb) (mg/L)
1	Punto 01	13.5	0.027	0.261
2	Punto 02	14.1	0.032	0.104
3	Punto 03	12.5	0.027	0.024
4	Punto 04	17.9	0.017	0.111
5	Punto 05	25.6	0.021	0.131
6	Punto 06	221.6	0.154	4.726
7	Punto 07	19.8	0.019	0.126
8	Punto 08	28.3	0.031	0.171
9	Punto 09	10.1	0.028	0.108
10	Blanco Lago	4.5	0.011	0.022
11	Blanco Viajero	< 0.5	0.001	0.005
12	Blanco Muestreo	< 0.5	0.001	0.004

MÉTODOS:

- Arsénico: APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012
- Cadmio y Plomo: APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012


Dra. Rosalía Anaya Bajuelo
Gerente Técnico



Anexo 10 : ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

ANEXO 1
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARAMETRO		UNIDAD	CATEGORIA 1: POTABILIZABLE Y RECREATIVA					Aguas superficiales destinadas para recreación	
			Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable					Contacto Primario	Contacto Secundario
			A1	A2	A3	VALOR	VALOR		
			Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado				
INORGANICOS			VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	**	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	**	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	**	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,7	**	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	**	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5	0,5	**	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,003	0,01	0,01	0,01	**	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	2	2	**	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	**	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	**	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	1	0,3	0,3	**	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,4	0,5	0,1	0,1	**	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	**	**
Níquel	mg/L	0,02	0,02	0,025	0,025	0,02	0,02	**	**
Plata	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,05	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	**	**
Selenio	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	**	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	3	5	5	3	3	**	**

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

2 de 10



**Anexo 11 : VISTA PANORÁMICA DEL PASIVO MINERO AMBIENTAL PASIVO MINERO AMBIENTAL
DE RECUAY, TICAPAMPA; RECUAY – ANCASH**



Imagen tomada de 2015 CNES – Astrium (Google Earth)

ANEXO N°12 : MÉTODOS USADOS EN EL ANÁLISIS DE LAS AGUAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

- **Arsénico:** APHA-AWWA-WEF 3144C. 22nd. Edition. 2012
- **Cadmio y Plomo:** APHA-AWWA-WEF 3113B. 22nd. Edition. 2012